



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**LETECKÝ ÚSTAV**

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

**PŘEHLED SOUČASNÝCH KOSMICKÝCH PROSTŘEDKŮ**

OVERVIEW OF CURRENT SPACESHIPS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Jana Špačková

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Pavel Zikmund, Ph.D.

**BRNO 2018**



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav  
Studentka: **Jana Špačková**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Zikmund, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Přehled současných kosmických prostředků

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obsahem práce je provést srovnání výhod a nevýhod běžně používaných a v současné době vyvíjených prostředků pro dopravu nákladu a lidské osádky do vesmíru. Srovnány budou náklady na provoz, výrobu, bezpečnost a výkony.

### Cíle bakalářské práce:

- 1) Přehled v současné době používaných a vyvíjených prostředků.
- 2) Srovnání jejich nákladů na výrobu a provoz, bezpečnost a výkony.

### Seznam doporučené literatury:

TURNER, M. J. L.: Rocket and spacecraft propulsion: principles, practice and new developments. Springer Science & Business Media, 2008.

SMITH, P.: Annual Compendium of Commercial Space Transportation, Federal Aviation Administration, 2016.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je vytvořit přehled běžně používaných a v současné době vyvíjených dopravních prostředků pro přepravu užitečného zatížení do vesmíru a tyto prostředky vzájemně porovnat.

První část práce je rozdělena na nosné rakety létající na oběžnou dráhu Země, nosné rakety létající pod oběžnou dráhu Země a na ostatní transportní prostředky vesmírné dopravy. Tyto kapitoly jsou dále členěny dle států a dle stavu vývoje, ve kterém se dopravní prostředky momentálně nacházejí.

Druhá část práce se zaměřuje na srovnání prostředků popsanych v první části z hlediska bezpečnosti, výkonů a nákladů využitých na výrobu a provoz. V závěru jsou vyhodnoceny výsledky srovnávací části a je zde okomentován předpoklad vývoje vesmírné dopravy v blízké budoucnosti.

## **Klíčová slova**

Nosná raketa, raketový stupeň, raketový motor, oběžná dráha, doprava, užitečné zatížení, nosnost

## **Abstract**

Target of this work is to create an overview of commonly used and in this time developed transports used for carrying payload to space and comparing these transportation means.

First part of the work is divided into three sections, rockets reaching the Earth's orbit, rockets flying bellow it and other means of space transport. These sections are further sorted by states and its stage of development they are currently in.

Second part of the work is focused on comparing previously described transports from the perspective of safety, power and also costs needed for running and manufacturing them.

In the end there are results from the comparing section of this work and comments on the probable path of the near future development of the space transportation.

## **Key words**

Launch vehicle, rocket stage, rocket engine, orbit, transport, payload, capacity



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ŠPAČKOVÁ, J. *Přehled současných kosmických prostředků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 81 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Zikmund, Ph.D.





## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušila autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů).

V Brně dne 25. května 2018

.....  
Jana Špačková



## **PODĚKOVÁNÍ**

Své poděkování bych ráda vyjádřila panu Ing. Pavlu Zikmundovi, Ph.D. za jeho vstřícný přístup, příjemné konzultování práce a poskytnuté připomínky. Dále bych své poděkování chtěla věnovat panu doc. Ing. Vladimíru Daňkovi, CSc. za jeho ochotu, vstřícnost a poskytnutí cenných rad.



## **OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>ROZDĚLENÍ .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>NOSNÉ RAKETY .....</b>	<b>17</b>
3.1	Definice .....	17
3.2	Historie .....	17
3.3	Raketové motory .....	17
3.4	Nosné rakety létající na oběžnou dráhu .....	18
3.4.1	USA .....	19
3.4.2	ČÍNA .....	30
3.4.3	RUSKO .....	38
3.4.4	JAPONSKO .....	44
3.4.5	EVROPSKÁ UNIE .....	47
3.4.6	ŠPANĚLSKO .....	49
3.4.7	VELKÁ BRITÁNIE .....	50
3.4.8	INDIE .....	51
3.4.9	ÍRÁN .....	53
3.4.10	IZRAEL .....	54
3.4.11	SEVERNÍ KOREA .....	55
3.5	Nosné rakety schopné letu pod oběžnou dráhou .....	56
<b>4</b>	<b>OSTATNÍ DOPRAVNÍ PROSTŘEDKY .....</b>	<b>59</b>
<b>5</b>	<b>SROVNÁNÍ .....</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>POJMY .....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>79</b>



## 1 ÚVOD

Za posledních 40 let a zejména za posledních pár let se vývoj vesmírné dopravy zásadně změnil a zlepšil svoji kvalitu. Na světovém trhu se začalo objevovat spoustu malých soukromých společností, které se snaží zapojit do velmi důležitého vývoje vesmírné dopravy. Tyto společnosti chtějí nabízet otevřené možnosti malým podnikům, jež potřebují umístit náklad na oběžnou dráhu Země, za nízké náklady. Jsou zde ale i velmi ambiciózní soukromé společnosti, které svým vývojem překonávají významné vesmírné organizace a věnují se vývoji těžkých nosných prostředků, se kterými by chtěly dosáhnout spolehlivé a bezpečné meziplanetární dopravy. Mezi takové společnosti se řadí americká soukromá obchodní společnost SpaceX, která se zaměřila na snížení cen, zvýšení nosností a spolehlivosti dopravních prostředků, čímž nasadila různým světovým podnikům a vládním organizacím vysokou laťku, kterou se ostatní nyní snaží překonat. Hlavní způsob, jak docílit těchto požadavků, je výroba znovupoužitelných komponentů, zcela znovupoužitelných dopravních prostředků a dosažení stoprocentní bezporuchovosti, tím pádem i úplné spolehlivosti a bezpečnosti prostředků. Vznikají nové designy, vývojáři zvětšují nákladový prostor, zvyšují vzletové hmotnosti prostředků a tím i jejich nosnost na oběžné dráhy Země a na jiné cílové destinace. Nejnovějším velkým chříčem se stala kolonizace Marsu. První mise s lidskou posádkou a s cílovou destinací Mars jsou nejbližší plánovány na rok 2024, když půjde vývoj k tomu potřebných prostředků hladce. S cílem kolonizace jiných planet se pojí i hledání nových pohonných hmot, které se mohou dlouhodobě skladovat a vydrží dlouhodobé mise. Snížení nákladů na výrobu a provoz, vývoj znovupoužitelných prostředků a poznání vzdálených destinací vesmíru lidmi se stalo prioritou současného vesmírného průmyslu.

Nejběžněji používaným dopravním prostředkem na přepravu nákladu a lidské posádky do vesmíru je momentálně nosná raketa. Tento prostředek má za úkol vynést užitečné zatížení, které má na sobě připevněné. Užitečným zatížením se může myslet přepravovaný satelit či více satelitů různých velikostí, vědecké sondy, moduly, ale i kosmické lodě na přepravu lidské posádky, které bývají součástí nosných raket uzpůsobených k dopravě lidí. Mezi další používané vesmírné prostředky přepravující náklad patří i stratosférické balóny a kosmické kluzáky.

## 2 ROZDĚLENÍ

V této práci jsou dopravní prostředky sloužící k přepravě užitečného zatížení rozděleny na nosné rakety a ostatní dopravní prostředky. Sekce nosné rakety je rozdělena na rakety létající na různé oběžné dráhy Země a na nosné rakety létající pod oběžnou dráhu Země. Další rozdělení je provedeno podle států světa, které tyto dopravní prostředky provozují a vyvíjejí, a dle toho, zda jsou tyto prostředky aktuálně používány, momentálně vyvíjené nebo zda se jejich start uskuteční v roce 2018. V kapitole nosné rakety jsou občas uvedeny i kosmické lodě, které jsou jimi vynášeny. V kapitole ostatní dopravní prostředky je zmínka o letounu, který je určen k vynášení nosných raket, o zcela znovupoužitelném kosmické kluzáku a jsou zde popsány dva momentálně vyvíjené velké těžké nosiče létající do jiných destinací, než je oběžná dráha Země.



## 3 NOSNÉ RAKETY

### 3.1 Definice

Nosná raketa, jinak také nosič, je dopravní prostředek, který se využívá k přepravě užitečného zatížení mimo zemskou atmosféru, a to na oběžnou dráhu Země nebo do jiné destinace ve vesmíru. Skládá se z jednoho či více raketových stupňů. Doposud byla většina nosných raket určena k jednorázovému použití, ale vývoj směřuje k většímu nasazení znovupoužitelných raket. Obvykle se nosné rakety po vypuštění do vesmíru oddělují od jejich užitečného nákladu a rozpadají se při atmosférickém návratu, v případě znovupoužitelných nosičů se vracejí zpět na zem. Skládají se z několika základních subsystémů, včetně pohonu, napájení, navigace, ovládání, adaptérů, užitečného zatížení a krytu. [1], [3]

### 3.2 Historie

Historie vesmírné dopravy začala nejméně před tisícem let v době, kdy Číňané vynalezli rakety. Tyto rakety byly v podstatě malé ohňostroje poháněné střelným prachem. Až v roce 1903 byly zveřejněny plány na vícestupňovou kapalinou poháněnou raketu. Autorem byl ruský matematik Konstantin Tsiolkovsky, který věděl, že takový typ rakety je pro zaslání nákladu na oběžnou dráhu nutný, ale nikdy takový stroj nesestavil. Jeho plány zrealizoval Američan Robert Goddard, který vytvořil raketu poháněnou kapalinou a vypustil ji v roce 1926. Práce probíhala v tajnosti a její dopad na vznikající vesmírný průmysl byl nepatrný.

V roce 1923 byla vydána publikace „The Rocket into Planetary Space“ od Hermanna Obertha, jenž byl považován za jednoho z nejvýznamnějších teoretiků kosmonautiky. Publikace vznikla nevědomky o výše uvedených pracích Tsiolkovského a Goddarda. Jeho práce je přisuzována prvotnímu představení raket veřejnosti. Brzy poté založil spolu s dalšími nadšenci raketový klub Verein für Raumschiffahrt (VfR), který byl značně financován německou armádou. Ve dvacátých a třicátých letech dvacátého století vznikaly podobné kluby po celém světě. V roce 1942 se VfR stala první skupinou, která úspěšně vypustila velkou balistickou raketu do suborbitálního prostoru (let nedosáhl oběžné dráhy Země). Po skončení druhé světové války začaly mezinárodní týmy vylepšovat a zpracovávat návrhy raket, zejména v USA a Sovětském svazu, ale také v Číně, Indii, Japonsku a v dalších zemích. Do roku 2015 svět vypouštěl na oběžnou dráhu přibližně 70 až 100 raket ročně. [1], [6]

### 3.3 Raketové motory

Raketový motor vytváří hnací sílu nosné rakety, a tak je jednou z jejích nejdůležitějších částí. Pracuje na principu třetího Newtonova pohybového zákona, neboli na principu akce a reakce. Tvoří část reaktivních motorů, která není závislá na okolním prostředí.

Jsou členěny dle zdroje energie na fyzikální a chemické raketové motory. Chemické jsou dále děleny dle druhu pohonných látek na:

- raketové motory poháněné tuhou pohonnou látkou (TPH)
- raketové motory poháněné kapalnou pohonnou látkou (KPH)
- raketové motory hybridní (HPH)

Hybridní raketové motory používají kombinaci kapalných a tuhých pohonných hmot. Existuje zvláštní kombinace chemického a proudového motoru, která se nazývá raketonáporový motor a je používána u kombinovaných raketoplánů, tj. kosmoplánů.

Raketové motory spalující tuhou pohonnou hmotu bývají konstrukčně jednodušší a relativně levné. Jsou tvořeny z kovového nebo kompozitního pouzdra naplněného viskózním hnacím plynem, který se vytvrzuje a stává se pevným. Pro spuštění motoru se používá katalyzátor nebo zapalovač. Po zapálení je výfukové potrubí vysunuto přes trysku a vytvoří tah. Spalování probíhá po celé délce motoru. Tento typ motoru nemůže být po zapálení paliva zaškrčen nebo vypnut, proto není vhodnou volbou pohonu kosmických prostředků nesoucích lidskou posádku. Raketové motory používající tuhou hmotu jsou například STAR motory, Five-Segment Solid Rocket Booster, grafitové epoxidové motory (GEM), motory Orion, M55 A1, SR19 a jiné.

Raketové motory spalující kapalnou hmotu jsou podstatně složitější a dražší než motory na tuhá paliva. Motor může být škrčený, což vyžaduje ovládání motoru a příslušný hardware. Jsou zatěžovány extrémními teplotami a tlaky. Existují dva typy motorů na bázi kapalin: jednosložkové a dvousložkové. Jednosložkové motory používají palivo, které nevyžaduje oxidační činidlo a je zapáleno katalyzátorem, zatímco dvousložkové motory spalují směs kapalného paliva a kapalného okysličovadla s použitím zapalovače. Raketové motory se spalováním kapalných látek jsou například BE-4, AR-1, FRE-1, Merlin-1D, Raptor, Rutherford, RL10A-4-2, RD-180 a jiné. [3], [5]



Obr. 3.1: Motor STAR-48 na TPH (NASA) [1]



Obr. 3.2: Motor BE-4 na KPH (Blue Origin) [1]

### 3.4 Nosné rakety létající na oběžnou dráhu

Úlohou nosičů létajících na oběžnou dráhu je dopravit náklad, například satelity, nebo lidskou posádku určité oběžné dráhy Země. Mohou být provozované a využívány jak vládou státu, tak i soukromými, nevládními společnostmi. Ne ale všechny tyto nosiče mohou být využity k obchodním účelům. Na konci roku 2017 působilo po celém světě přibližně 90 takových nosných raket, kde jsou zahrnuty i různé varianty řad raket. Příkladem je 10 variant nosné rakety Atlas V, které jsou vymezeny dle počtu použitých posilovačů u raketových motorů na KPH, druhu aerodynamického krytu a dle raketového stupně Centaur, který je použit jako horní stupeň nosné rakety a který může být jedno nebo dvumotorový. [2]

### 3.4.1 USA

Kromě vládní agentury NASA jsou Spojené státy velmocí v počtu soukromých společností zprostředkovávajících lety do vesmíru. Mezi soukromé zprostředkovatele startů v USA patří společnosti:

- ARCA Space Corporation (N. Mexiko)
- Blue Origin (Washington)
- Firefly Space Systems (Texas)
- Lockheed Martin (Maryland)
- Orbital ATK (Virginie)
- Rocket Crafters, Inc. (Florida)
- Rocket Lab (Kalifornie)
- SpaceX (Kalifornie)
- ULA (Colorado)
- Vector (Arizona)
- Virgin Orbit (Kalifornie)

V posledních letech se soukromé společnosti začaly více zaměřovat na těžké nosiče. Tímto by se do pár let mohla situace na trhu s těžkými raketami zpestřit. Velkou roli v tomto případě hraje zájem amerického letectva, které financuje vývoj nosných raket u některých soukromých firem. [15]

Ve Spojených státech amerických je v současné době k dispozici 10 nosných raket létajících na oběžnou dráhu s komerčním využitím soukromých zprostředkovatelů startů. V tabulce 3.1 jsou shrnuty nosiče těchto soukromých společností.

V tabulce 3.2 jsou uvedeny nosné rakety, které by mohly být v USA v následujících letech využity k obchodním účelům. Pár typů nosných raket je momentálně ve vývoji a jejich plánovaný start by měl proběhnout během následujících dvou až pěti let. Některé z nich nejsou majetkem amerických společností, ale předpokládá se, že start proběhne z amerických startovacích středisek.

V roce 2017 byl ještě naposledy použit nosič Delta II, který již nebude dále v provozu, a nosič Delta IV byl naposledy použit v lednu 2018, čímž byl jeho provoz ukončen. [2]

Tab. 3.1: Nosné rakety USA létající na oběžné dráhy s komerčním využitím [1], [2], [7], [8], [9], [10]

Nosič	Provozovatel	Rok prvního startu	Celkový počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [million \$]
<b>Antares</b>	Orbital ATK	2013	7	86	80 - 85
<b>Atlas V</b>	ULA and LMCLS	2002	78	100	109 - 179
<b>Delta IV Heavy</b>	ULA	2004	9	100	350
<b>Electron</b>	Rocket Lab	2017	2	50	4,9
<b>Falcon 9</b>	SpaceX	2010	54	98	postradatelná: 62 obnovitelná: 49
<b>Minotaur I</b>	Orbital ATK	2000	11	100	40
<b>Minotaur IV</b>	Orbital ATK	2010	4	100	46
<b>Minotaur V</b>	Orbital ATK	2013	1	100	55
<b>Minotaur-C</b>	Orbital ATK	1994	10	70	40 - 50
<b>Pegasus XL</b>	Orbital ATK	1994	33	97	40

Tab. 3.2: Nosné rakety USA létající na oběžné dráhy s možným komerčním využitím [1], [2], [11]

Nosič	Provozovatel	Rok prvního startu	Celkový počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [million \$]
Alpha	Firefly Aerospace	2019	-	-	10
BFR	SpaceX	2022	-	-	nezveřejněno
Cab-3A	CubeCab	2018	-	-	0,25
Falcon Heavy	SpaceX	2018	1	100	postradatel.: 150 obnovitelná: 90
Haas 2C	ARCA Space Corporation	2018	-	-	nezveřejněno
Intrepid 1	Rocket Crafters	2018	-	-	5,4
LauncherOne	Virgin Orbit	2018	-	-	12
Minotaur VI	Orbital ATK	nezveřejněno	-	-	60
New Glenn	Blue Origin	2020	-	-	nezveřejněno
OmegaA	Orbital ATK	2021	-	-	nezveřejněno
Vector H	Vector Space Systems	2019	-	-	3,5
Vector R	Vector Space Systems	2018	-	-	1,5
Vulcan	ULA	2020	-	-	nezveřejněno

a) JIŽ V PROVOZU**Antares**

Nosná raketa Antares je první verzí ze stejnojmenné řady a první raketou, která je poháněna kryogenní pohonnou látkou (kapalný kyslík či vodík). Dvoustupňová nosná raketa je určena k přepravě vládních a komerčních satelitů na nízkou oběžnou dráhu Země. Přepravuje kosmickou loď Cygnus, která zásobuje Mezinárodní vesmírnou stanici. Dále je určena na mise vyžadující únikovou dráhu Země a bude k dispozici budoucím vědeckým misím. Jejím výrobcem a zprostředkovatelem je společnost Orbital ATK, která nabízí zakázkám s vysokou energetickou náročností doplnění o třetí dvousložkový raketový stupeň. Její první let proběhl v roce 2013 a do konce roku 2017 proběhlo již 7 letů na oběžnou dráhu Země. [2]

**Atlas V**

Atlas V patří mezi středně těžké až těžké nosné rakety. Jejím výrobcem a zároveň provozovatelem je United Launch Alliance (ULA), přičemž byla původně vyvinuta společností Lockheed Martin (LMCLS).

Jedná se o dvoustupňovou raketu a její název je odvozen z velké řady interkontinentálních balistických raket Atlas a nosných raket použitých v letech 1950 až 1970. První stupeň Common Core Booster (CCB) je poháněn ruským motorem RD-180 (kombinace až 5 posilovačů na TPH), a druhý (horní) stupeň s názvem Single Engine Centaur je poháněný

jedním nebo dvěma motory RL10A-4-2. Dále obsahuje spojovací adaptér užitečného zatížení, který jej upevní na raketu, a aerodynamický kryt užitečného zatížení. Každý typ je označen trojčíslím, kde první číslice znamená průměr krytu v metrech (4 nebo 5), druhá označuje počet použitých raketových posilovačů Aerojet (od 0 do 5) a třetí vyjadřuje počet použitých motorů RL10A-4-2 (1 nebo 2). Příkladem je Atlas V 401, který započal vývoj této řady v roce 2002. Doposud odstartovalo pouze 9 variant z již existujících 18 variant řady Atlas V.

Přestože tento typ nosné rakety může vynést užitečné zatížení na jakoukoliv požadovanou oběžnou dráhu, budou jednotlivé typy od počátku roku 2019 postupně nahrazovány řadou Vulcan od výrobce ULA, a úplné nahrazení řady Atlas V se očekává kolem roku 2023. [2],

### Delta IV Heavy

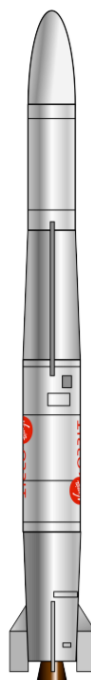
Nosná raketa Delta IV Heavy od provozující společnosti ULA je poslední fungující raketou z rodiny Delta IV. Byť je druhou nejsilnější nosnou raketou světa a dokáže vynést velmi těžké náklady, v roce 2023 se očekává její vyřazení z funkce. Má ji nahradit nosná raketa Vulcan. Bude využívána až do doby, než se dokončí výroba nového horního stupně rakety Vulcan s názvem Advanced Cryogenic Evolved Stage (ACES), který by měl výrazně zvýšit nosnost tohoto nosiče. K 31. prosinci 2017 proběhlo celkem 9 startů, z toho 8 jich bylo úspěšných. Raketa je určena k jednorázovému použití. [1], [8]



Obr. 3.3: Antares [2]



Obr. 3.4: Atlas V [2]



Obr. 3.5: Delta IV Heavy [2]



Obr. 3.6: Electron [2]

### Electron

Dvoustupňová nosná raketa Electron pochází z dílny společnosti Rocket Lab, která byla založena na Novém Zélandu. Momentálně sídlí v USA, ale na Novém Zélandu má stále pobočku. Raketa je tvořena jednoduchou konstrukcí z lehkých kompozitních materiálů se schopností manipulovat s kryogenními kapalinami, jako například kapalný kyslík.

Electron potřebuje celkově 10 motorů Rutherford (9 na první stupeň a 1 na druhý stupeň). Tyto motory jsou navrženy tak, aby se daly rychle vyrábět, neboť má Rocket Lab v plánu velký počet startů této rakety. Pro udržení nízkých cen a rychlé produkce se všechny součásti motorů

Rutherford vyrábějí pomocí 3D tisku. Tento nosič bude primárně prodáván zákazníkům, jejichž satelity jsou posílány na heliosynchronní dráhu. Poprvé odstartovala v květnu roku 2017. [2]

## **Falcon 9**

Soukromá společnost Space Exploration Technologies (SpaceX) vypustila do vesmíru nosnou raketu Falcon 9 poprvé v roce 2010. Byla vyvinuta pro národní bezpečnostní mise a také slouží k přepravě kosmické lodi Dragon na Mezinárodní vesmírnou stanici (ISS). Tato dvoustupňová raketa využívá k pohonu prvního stupně 9 motorů Merlin 1-D a k pohonu druhého stupně jeden motor Merlin 1-D Vacuum. Tyto motory si společnost SpaceX vyrábí sama. Dále je nosič vybaven spojovacím adaptérem užitečného zatížení a velkým aerodynamickým krytem na ochranu užitečného zatížení. Vynesení kosmické lodi Dragon ovšem nevyžaduje žádný ochranný kryt.

Falcon 9 je nosná raketa schopná opětovného použití. První stupeň se po oddělení vrátí buď na přistávací plošinu poblíž místa startu nebo na jednu z autonomních přistávacích plošin společnosti SpaceX v Atlantském oceánu nebo v Pacifiku. Právě tato schopnost návratu a opětovného použití prvního stupně je důležitým faktorem snížení nákladů na výrobu, což posouvá vývoj vesmírné dopravy hodně kupředu. Momentálně se pracuje na vývoji opětovného použití i u druhého stupně a aerodynamického krytu.

Byly vyvinuty verze Falcon 9 v1.0 (2010-2013), Falcon 9 v1.1 (2013-2016), ale v současné době je aktivní pouze verze Falcon 9 Full Thrust (Falcon 9 FT), která byla představena v roce 2015 a oproti verzi v1.1 má o 20 % větší nosnost. V první polovině roku 2018 byla do provozu uvedena nová a zároveň finální verze tohoto nosiče. Ponese název Block 5.

Nosná raketa Falcon 9 provedla celkově 54 startů. Ke konci roku 2017 je vedeno, že se první stupeň celkem dvacetkrát vrátil zpět, přičemž osmkrát přistál na zemi a dvanáctkrát na lodní plošinu. Pětkrát znovu vzlétl. V průběhu první poloviny roku 2018 proběhlo ještě dalších 5 úspěšných návratů prvního stupně. [2], [10]

## **Minotaur I**

Nevládní společnost Orbital ATK vyvinula tuto čtyřstupňovou nosnou raketu jako cenově výhodnější řešení sloužící k dopravě kosmických prostředků vlády Spojených států amerických. První stupeň tvoří motor M55 A1 a druhý stupeň motor SR19, které byly součástí již vyřazené rakety Minuteman II z éry šedesátých let. Jako třetí a čtvrtý stupeň jsou použity motory Orion-50XL a Orion-38 z rakety Pegasus. Protože tato nosná raketa využívá komponenty z balistické rakety, které byly navrženy pro dlouhodobou životnost, vyžaduje pouze málo času a přípravy v oblasti zpracování a infrastruktury. Tím se stává Minotaur I atraktivní volbou dopravy malých armádních nákladů do vesmíru. Během 11 úspěšných startů této nosné rakety bylo vyneseno 62 satelitů na oběžnou dráhu Země.

Minotaur I může být vybaven klasickým aerodynamickým krytem o délce 3,8 m a průměru 1,3 m nebo speciálním krytem 61" s délkou 6,1 m a šířkou 1,6 m. [1]

## **Minotaur IV**

Minotaur IV je typ čtyřstupňové nosné rakety od společnosti Orbital ATK, který výhradně poskytuje svoje služby vládě Spojených států amerických. Byla primárně vyrobena pro lety na oběžnou dráhu Země, ale přes to je také periodicky používána na mise pod oběžnou dráhou. Mezikontinentální balistická raketa Peacekeeper byla inspirací pro vznik této nosné rakety.



Existují tři verze této nosné rakety. První klasickou verzí je Minotaur IV, která využívá jako čtvrtý stupeň motor Orion-38. Motor STAR-48V je stejným způsobem využíván u verze Minotaur IV+, ale má o něco větší sílu než motor u předchozího typu. Třetím typem je třístupňová verze Minotaur IV Lite, která slouží k misím pod oběžnou dráhou Země. [2]



Obr. 3.7: Falcon 9 [2]



Obr. 3.8: Minotaur I [2]



Obr. 3.9: Minotaur IV [2]

## Minotaur V

Mezi nosné rakety společnosti Orbital ATK se také řadí pětistupňový Minotaur V, který využívá zejména vláda Spojených států amerických. Je určen k přepravě užitečného zatížení na přechodovou dráhu ke geostacionární dráze nebo na oběžnou dráhu k Měsíci či za něj. Ke konci roku 2017 byl proveden pouze jeden start a to 7. září 2013. Byl úspěšný a vynesl do vesmíru čtyřsetkilovou sondu LADEE (Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer od americké vládní agentury NASA), která měla za úkol zkoumat řídkou atmosféru a prach na Měsíci. První, druhý a třetí stupeň je tvořen obnovenými motory na tuhé pohonné látky z rakety Peacekeeper. [2]

## Minotaur-C

Jako volba pro zákazníky se satelity byla vytvořena čtyřstupňová nosná raketa Minotaur-C, která je vylepšenou verzí nosné rakety Taurus. Výrobcem a zprostředkovatelem je opět společnost Orbital ATK. Nosností se řadí mezi lehké nosné rakety. Existuje několik variant, které umožňují různě kombinovat stupně a aerodynamické kryty užitečného zatížení dle požadavků zákazníka. V roce 2014 byla podepsána smlouva se společností Terra Bella (nyní součást společnosti Planet) o jednorázovém vynesení šesti satelitů SkySat. Let byl v listopadu roku 2017 úspěšně proveden. [2]

## Pegasus XL

Soukromá společnost Orbital ATK také vytvořila nosnou raketu Pegasus XL, která neuskutečňuje své starty ze země, nýbrž ze vzduchu za pomoci letadla L-1011 firmy Lockheed, které jí udává počáteční startovací rychlost. Raketa je zavěšena na spodní části letounu. Jejím hlavním úkolem je vynášet malé satelity na nízkou oběžnou dráhu Země. Patří do rodiny Pegasus poprvé uvedené v roce 1990.

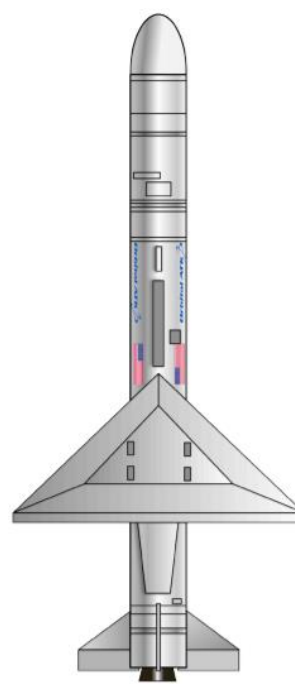
Standardně se skládá ze tří stupňů s motory Orion na TPH od ATK, ale může být doplněna čtvrtým stupněm HAPS (Hydrazine Auxiliary Propulsion System) poháněným za pomoci hydrazinu. Součástí prvního stupně Orbital-50SXL je křídlo umožňující aerodynamický let během startu a má rozpětí křídla 6,2 m. [1]



Obr. 3.10: Minotaur V [2]



Obr. 3.11: Minotaur-C [2]



Obr. 3.12: Pegasus XL [2]

### b) START V ROCE 2018

## Cab-3A

Společnost CubeCab sídlící v USA je zprostředkovatelem a výrobcem malé nosné rakety Cab-3A, která bude vypuštěna ze spodu stíhačky F-104 Starfighter od společnosti Starfighters Aerospace. Ta má podle plánu vzlétnout z letiště Shuttle landing facility v Kennedyho vesmírném středisku na Floridě (Kennedy Space Center – viz příloha). Cab-3A má být výhradně využíván operátory malých satelitů CubeSats. Očekává se, že vzlétne do vesmíru přibližně stokrát ročně. V letech 2020-2022 by měl vynést téměř 300 satelitů na nízkou oběžnou dráhu Země.

Přesto že je údajně technicky méně efektivní vynášet malé náklady malými nosiči, cena je ve skutečnosti nižší oproti vynášení větších nákladů (více nákladů společně) jedním letem. Příkladem výhody, která šetří cenové rozpočty, je zkrácení časového plánu uskutečnění startu z jednoho až dvou let pouze na pár měsíců. [1]



## Falcon Heavy

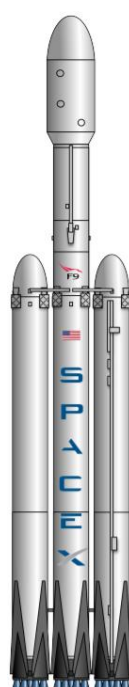
V odpoledních hodinách dne 6. února 2018 poprvé odstartovala momentálně nejsilnější raketa světa Falcon Heavy, kterou vyvinula soukromá společnost SpaceX. Jednalo se o zkušební let, proběhl v Kennedyho vesmírném středisku na Floridě. Má přibližně dvakrát větší tah než Delta IV Heavy. Jsou to v podstatě 3 první stupně nosiče Falcon 9 spojené dohromady. Celek tvoří centrální jádro obsahující dva stupně a dva boční posilovače. Všechny části jsou poháněny motory Merlin-1D, kterých je celkem 28. Oba posilovače a první stupeň jsou navrženy k opětovnému použití. Posilovače se vrací buď na pevninu nebo na jednu z autonomních přistávacích plošin v Atlantském oceánu či v Pacifiku společnosti SpaceX, kam se má vracet také první (centrální) stupeň.

Po startu pracují oba boční posilovače na co nejvyšší výkon, zatímco první (centrální) stupeň na co nejnižší. Po několika minutách se posilovače odpojí a první stupeň spolu s druhým (horním) pokračují dále, avšak už na plný výkon. Poté dochází k odpojení druhého stupně a návratu prvního zpět na Zemi. Při prvním startu se horní stupeň zřítíl rychlostí přibližně 480 km/h do oceánu téměř 400 m od přistávací plošiny. Důvodem byl nedostatek zápalné směsi, která se míchá s palivem a okysličovadlem.

Oslovení nejsilnější raketa světa jí udává fakt, že má nosnost na nízkou oběžnou dráhu Země 63 800 kg. Na přechodovou dráhu ke geostacionární dráze (na GTO) má raketa nosnost 26 800 kg a je schopná vynést více nákladů naráz. Na jeden start nosiče s nákladem do 8 000 kg (na GTO) se udává cena okolo 90 milionů amerických dolarů. [2], [11]



Obr. 3.13: Cab-3A [2]



Obr. 3.14: Falcon Heavy [2]



Obr. 3.15: Haas 2C [2]

## Haas 2C

Nevládní organizace rumunského původu Aeronautics and Cosmonautics Romanian Association (ARCA Space Corporation) vyvinula tento dvoustupňový nosič za účelem vyhrát ve vesmírné soutěži soukromých týmů Google Lunar X Prize. Po odstoupení ze soutěže se rozhodli zaměřit na detailnější a efektivnější vývoj dvou nosných raket, Haas 2B a Haas 2C.

Haas 2B je nosná raketa létající pod oběžnou dráhu Země. Typ Haas 2C je navržen tak, aby zvládl pokrýt očekávanou poptávku provozovatelů malých satelitů. Organizace používá při výrobě kompozitní materiály, které poskytnou raketě (popřípadě jejím částem) pevnost, nízkou hmotnost a vyšší trvanlivost. [1]

### **Intrepid 1**

Dvoustupňová nosná raketa americké společnosti Rocket Crafters, Inc. je první verzí budoucí rodiny Intrepid. Další plánované verze budou XL a XL+ pro širší skupinu zákazníků. Hlavním cílem společnosti je snížení nákladů na výrobu. Výkon řadí až na druhé místo. Navíc společnost hodlá s očekávanou nižší výrobní cenou vyrábět nosiče s šestiměsíční dodací lhůtou od uzavření objednávky. Nosič bude používat dva hybridní motory (HPH) vyráběné aditivně, které budou poháněny vlastní hnací směsí společnosti. V roce 2018 by měl poprvé vzlétnout z mysu Canaveral na Floridě (Kennedyho vesmírné středisko). Očekává se, že v roce 2020 bude Intrepid 1 startovat několikrát za týden. [1]

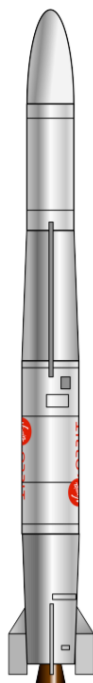
### **LauncherOne**

Další nosnou raketou vypuštěnou v roce 2018 je LauncherOne od soukromé organizace Virgin Orbit. Skládá se ze tří stupňů a bude startovat z nosného letounu Boeing 747-400 s názvem „Cosmic Girl“. Původně měl být pro start použit letoun WhiteKnightTwo, ale kvůli zvýšení nosnosti rakety musel být vyměněn. Nosnost na LEO se zvýšila z plánovaných 225 kg na 500 kg, což by původní letoun nezvládl unést.

Třístupňový LauncherOne vznikl hlavně jako reakce na zvýšenou poptávku vynášení malých satelitů. Řeší ji rychlým plánováním, vyhrazenými službami pro zákazníky s miniaturními satelity a rychlým doplněním konstelace. [2]



Obr. 3.16: Intrepid 1 [2]



Obr. 3.17: LauncherOne [2]



Obr. 3.18: Vector R [2]

### **Vector R**

Dvoustupňový nosič Vector R neboli Vector Rapid, který vlastní americká společnost Vector, má naplánovaný první start na oběžnou dráhu ke konci roku 2018. Jeho úkolem bude doprava

malých satelitů přímo na kruhové nebo eliptické oběžné dráhy. V roce sice proběhly dva testovací lety této rakety, ale oba proběhly pod oběžnou dráhou Země. Nabízí vyhrazené možnosti startu pro zákazníky s nákladem do 100 kg nebo méně. Finská satelitní firma Ice podepsala smlouvu o uskutečnění 21 letů počínaje roku 2018, které by měly dopravit do vesmíru až 20 satelitů na dálkový průzkum.

Společnost Vector vyrobila nový typ motoru pro pohánění této rakety. Zajímavostí je, že vstříkací systém tohoto motoru byl vyvíjen ve spolupráci s NASA. Tudíž se jedná o spojení nevládní organizace s vládou USA. Při výrobě se značně používala metoda 3D tisku (lehčí komponenty). [2], [12]

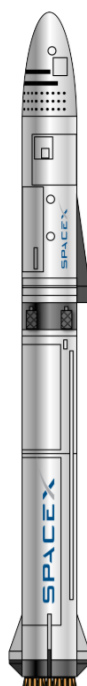
### c) VE VÝVOJI

#### Alpha 1.0

Výrobcem a zároveň zprostředkovatelem startu nosné rakety Alpha je společnost založená v USA Firefly Space Systems, která je většinově vlastněna společností Noosphere Ventures. Je to dvoustupňová nosná raketa využívající kompozitní materiály na lehké, ale zároveň silné části konstrukce, jako jsou například nádrže. Raketa by měla být poprvé vypuštěna v polovině roku 2019. Místo startu není zveřejněno. [2]



Obr. 3.19: Alpha 1.0 [2]



Obr. 3.20: BFR [2]



Obr. 3.21: Minotaur VI [2]

#### BFR

Nosná raketa Big Falcon Rocket (BFR) má být největší raketou z rodiny Falcon a zároveň největší nosnou raketou vůbec. Elon Musk představil tento model jako menší, levnější a realizovatelnější řešení původního modelu Interplanetary Transport System (ITS). Je to zcela znovupoužitelná dvoustupňová nosná raketa skládající se z nosiče a kosmické lodi s velkým nákladovým prostorem širokým až 9 metrů. Měla by být schopna vynést náklad na oběžnou dráhu a vrátit se zpět na Zemi, nebo na oběžné dráze počkat na další raketu, která by ji doplnila palivo a kyslík. Poté by se mohla vydat k Měsíci nebo Marsu. Více informací o tomto nosiči v kapitole 3.5 a 4. [2], [13]

## **Minotaur VI**

Budoucí raketa společnosti Orbital ATK má být vylepšenou verzí nosiče Minotaur IV+. Bude to cenově výhodná verze a bude vhodným transportním prostředkem pro kosmické lodě vlády Spojených států amerických. Měla by se skládat z pěti stupňů s motory na TPH, z čehož čtyři stupně budou opatřeny vládou a horní stupeň soukromě. Orbital ATK opatří výkon a jejich již osvědčený letový systém. Spojení soukromé společnosti a vlády je silnou výhodou. Flexibilní konstrukce rakety umožní využití v různorodých misích. Výhodou má být i možnost startu z různých míst (Florida a Aljaška) díky přenosnému podpůrnému startovacímu zařízení. [1], [14]

## **New Glenn**

V roce 2016 nevládní organizace Blue Origin představila návrh nové rodiny nosných raket New Glenn. Blue Origin hodlá vyrábět tento typ ve dvou verzích: dvoustupňové a třístupňové. Jedná se o nosič se znovupoužitelným prvním stupněm. První stupeň bude vybaven šesti přistávacími nohama a sedmi motory BE-4 na KPH. Motor je výjimečný tím, že jeho nádrže nebudou tlakovány pomocí helia, jako je u motorů na KPH běžné. Bude spalovat tekutý kyslík a zkapalněný zemní plyn. U prvního stupně se ještě zamýšlí vybavení dalšími čtyřmi prodlouženými přistávacími nohama. Druhý stupeň bude poháněn jedním motorem stejného typu, ale třetí stupeň bude využívat zmenšený motor BE-3U. [2]

## **OmegaA**

Orbital ATK poprvé představila tento projekt pod názvem Next Generation Launch (NGL) v době, kdy ještě nebyla přesná představa o provedení tohoto těžkého nosiče. Nyní je její aktuální název OmegaA. Tato raketa by měla být k dispozici ve dvou verzích. Ve slabší a silnější verzi.

Slabší verze bude pro první stupeň využívat motor na TPH Castor 600, který bude vyráběn z kompozitních materiálů. K prvnímu stupni bude možno připojit až šest urychlovacích bloků. Druhý stupeň bude využívat motor na TPH Castor 300, opět z kompozitního materiálu, ale bude o polovinu kratší než motor u prvního stupně. Nad druhým stupněm bude horní stupeň, který bude tvořit dvojice motorů na KPH, které budou poháněné kapalným vodíkem a kapalným kyslíkem. Start této verze je plánovaný na rok 2021.

Silnější verze bude postavena stejně, ale na prvním stupni použije motor Castor 1200. Tudíž bude dvojnásobně silnější než její slabší verze a její první start se očekává v roce 2024. Její nosnost na přechodovou dráhu ke geostacionární dráze (GTO) by měla být 10 100 kg a na geostacionární dráhu (GEO) 7 800 kg. Tímto se řadí mezi těžké nosné rakety. [2], [15]

## **Space Launch System**

Americká vládní agentura NASA vyvinula tento nosný dopravní prostředek k pokročilému průzkumu vesmíru mimo oběžnou dráhu Země. Mise mimo oběžnou dráhu budou pro tento nosič prioritou, ale k přepravě nákladu na LEO bude také uzpůsobený. Nosností na LEO se bude řadit mezi super těžké nosné rakety. Více informací (týkající se i nosnosti na LEO) v kapitole 4. [2]

## **Vector H**

Nosná raketa Vector H bude sloužit na stejné misi vynášení malých satelitů na oběžnou dráhu Země jako nosič Vector R, ale jeho výhodou bude větší nosnost. Na nízkou oběžnou dráhu vynese až 150 kg nákladu. Tvoří ji dva stupně a je schopna umístit užitečné zatížení přímo na

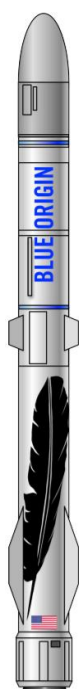
kruhové nebo eliptické oběžné dráhy. Poprvé by měl nosič Vector H odstartovat v roce 2019. [1], [16]

## Vulcan

Společnost ULA představila koncept tohoto nosiče jako náhradu raket Delta a rakety Atlas V. Přesto že Delta IV Heavy a Atlas V byly vysoce vyvinuté na dobu svého vzniku, nosná raketa Vulca bude vylepšenější a bude nabízet větší využití.

V roce 2020 by měla poprvé odstartovat verze Vulcan Centaur. Pojmem Centaur se nazývá horní stupeň rakety. Vulcan Centaur bude tvořen jedním samostatným posilovacím stupněm, druhým vysokoenergetickým stupněm Centaur a 4m nebo 5m aerodynamickým krytem. Do čtyřmetrové verze lze doplnit až 4 posilovače SRBs, které zvyšují tah rakety, a do pětmetrové verze lze doplnit až 6 takových posilovačů. Postupem času hodlá ULA vylepšovat horní stupeň, což zvýší nosnost nosiče.

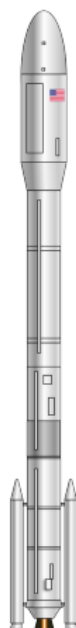
Dále ULA vyvíjí nový typ horního kryogenního stupně Advanced Cryogenic Evolved Stage (ACES). Jedná se o napodobeninu stupně Centaur, kde na rozdíl od něj bude znovu natankovatelný ve vesmíru. Díky této vlastnosti nebude muset raketa přistávat na Zemi z důvodu paliva, což umožní cestování na velké vzdálenosti. [2]



Obr. 3.22:  
New Glenn [2]



Slabší verze OmegaA

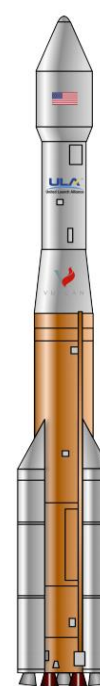


Silnější verze OmegaA

Obr. 3.23: OmegaA [2]



Obr. 3.24: Vector  
H [2]



Obr. 3.25: Vulcan  
[2]

Tab. 3.3: Charakteristické hodnoty nosných raket USA [1], [2], [8], [14], [15], [16],

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
<b>Alpha</b>	54 000	29	2	-	1000	650
<b>Antares</b>	530 000	40,5	3,9	nezveřejněno	6 200-6 600	2 100-3 400
<b>Atlas V</b>	401: 333 731 551: 568 878	60,6 - 75,5	3,8	2 690 - 8 900	8 123 - 18 814	6 424 - 15 179
<b>BFR</b>	4 400 000	106	9	nezveřejněno	250 000	nezveřejněno
<b>Cab-3A</b>	13 000	16,8	6,6	-	5	-
<b>Delta IV Heavy</b>	733 000	72	5	14 220	28 790	-
<b>Electron</b>	10 500	16	1,2	-	225	150
<b>Falcon 9</b>	541 054	70	3,7	8 300	22 800	-
<b>Falcon Heavy</b>	1 420 788	70	12,2	26 700	63 800	-
<b>Haas 2C</b>	16 000	18	1,2	-	400	nezveřejněno
<b>Intrepid 1</b>	24 200	16,2	1,7	-	nezveřejněno	376
<b>LauncherOne</b>	25 000	25	1,8	-	500	300
<b>Minotaur I</b>	36 200	19,2	1,7	-	580	440
<b>Minotaur IV</b>	86 300	23,9	2,3	-	1 600	1 190
<b>Minotaur V</b>	89 373	24,5	2,3	532	-	-
<b>Minotaur VI</b>	137 000	32,6	2,3	860	2 600	2 250
<b>Minotaur-C</b>	77 000	32	1,6	-	1 278-1 458	912-1 054
<b>New Glenn</b>	nezveřejněno	82-95	8	13 000	45 000	-
<b>OmegaA</b>	nezveřejněno	59,8	5,3	10 100	nezveřejněno	-
<b>Pegasus XL</b>	23 130	16,9	1,3	-	450	325
<b>Vector H</b>	8 700	16	1,1	-	150	75
<b>Vector R</b>	6 000	12	1,2	-	66	40
<b>Vulcan</b>	4m: 432 000 5m: 1 280 000	58,3 69,7	4 5	4 750 - 16 300	9 400 - 31 400	7 700 - 27 900

### 3.4.2 ČÍNA

Na rok 2020 je naplánováno nahrazení všech momentálně používaných nosných raket rodin Long March 2, Long March 3 a Long March 4. Všechny tyto nosiče jsou poháněny kapalným dvousložkovým palivem  $N_2O_4/UDMH$ . Výhodou paliva je, že dokáže být stálý i za dlouhého skladování. Tudíž je vhodné pro dlouhodobější mise. Nevýhodou ovšem je, že oproti některým americkým motorům mají motory využívající toto palivo menší výkon. Nosiče, které více zmiňované rakety nahradí, jsou většinou poháněny kapalným kyslíkem v kombinaci s kapalným vodíkem nebo s petrolejem. Výhodou je to, že kapalný kyslík vytváří velký specifický impuls, ale pro jeho kryogenní vlastnosti je těžší ho skladovat, tudíž se musí rychleji doplňovat a starty musí být urychlené. [2], [17]

a) JIŽ V PROVOZU

**Kaituozhe 2**

Nosná raketa Kaituozhe 2 vzlétla poprvé na začátku roku 2017. Je druhou verzí původní rakety Kaituozhe 1, jejíž vývoj byl pozastaven po roce 2003 z důvodu dvou neúspěšných letů. Od první verze se poměrně liší hlavně vyšší nosností. Oproti původní nosnosti první verze, 100 kg na LEO, má druhá verze nosnost o 250 kg větší. V roce 2018 bude uvedena do provozu nová verze, Kaituozhe 2A, s nosností na nízkou oběžnou dráhu Země 1 000 kg až 2 000 kg. Tato nová varianta bude nabízena obchodně společností EXPACE za podpory Čínské akademie technologií nosných prostředků (CALT). [2]

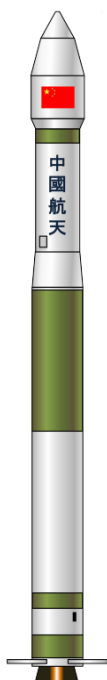
**Kuaizhou 1/1A**

Dvoustupňový nosič na TPH Kuaizhou 1A je nízkonákladovou obchodní verzí armádní rakety Kuaizhou 1 a přezdívá se mu Feitain 1. V řadě Kuaizhou jsou aktuálně v provozu 3 verze. Pro národní bezpečnostní mise je k dispozici Kuaizhou 1. Ke komerčním účelům slouží verze Kuaizhou 1A ve standartní velikosti nebo v možné větší velikosti s větším nákladovým prostorem. V roce 2025 se plánuje uvedení do provozu třetí verze Kuaizhou 21 a čtvrté verze Kuaizhou 31, které by se s nosností až 70 000 kg na LEO měly řadit mezi těžké nosné rakety.

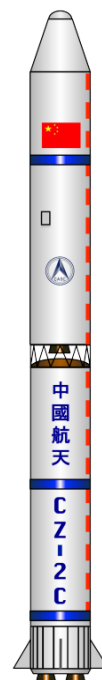
Nosné rakety Kuaizhou jsou schopny rychlého nasazení. V případě výzvy podpory bezpečnostních misí, je tento nosič schopen během pár hodin či dní vynést satelity na oběžnou dráhu. K tomu je potřeba mobilní startovací plošina, vybavena řídicími systémy a všemi systémy potřebnými při pozemní manipulaci. [1]



Obr. 3.26: Kaituozhe 2 [2]



Obr. 3.27: Kuaizhou 1/1A [2]



Obr. 3.28: Long March 2C [2]

**Long March 2C**

Středně těžký nosič Long March 2C je člen řady Long March 2 a je nástupce rakety Long March 2A, která již není k dispozici. V současné době existuje 6 variant tohoto nosiče a jsou schopny vynášet užitečný náklad jak na LEO, tak na GEO, GTO a SSO. Nosič Long March 2C poprvé

odstartoval v roce 1982 a ke konci ledna 2018 je datováno 45 startů, z čehož neúspěšný byl pouze jeden. [2], [18]

### Long March 2D

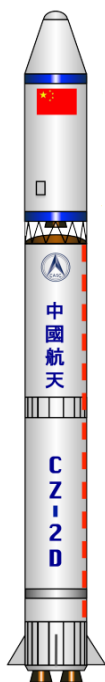
Dalším členem řady Long March 2 je dvoustupňový typ 2D. Ve srovnání s předchozím typem je přibližně stejně velký, těžký i drahý, ale má menší nosnost na LEO a SSO a není schopen vynášet náklad na GTO a GEO. Je ale schopen nabídnout dva typy aerodynamického krytu, jeden menší a druhý větší.

Od roku 1992, kdy proběhl první start Long March 2D, bylo provedeno celkem 39 startů, z čehož byl pouze jeden neúspěšný. [2], [19]

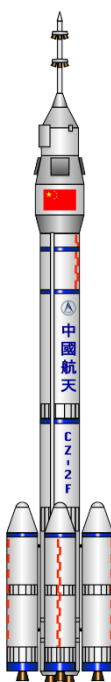
### Long March 2F

Do rodiny Long March 2 patří také jediný typ sloužící k dopravě lidské posádky na oběžnou dráhu Země, Long March 2F. Posádka se na oběžnou dráhu dostává pomocí kosmické lodi Shenzhou, kterou nese právě tato nosná raketa. Typ 2F je tvořen dvěma stupni a vychází z již vyřazené rakety Long March 2E. Nevýhodou této rakety jsou vibrace, které byly během několika letů zaznamenány. Stejný problém má i typ 2E. Přes to, že bylo provedeno spoustu změn a úprav, problém nebyl stále úplně zažehnán. Proto je také součástí rakety z bezpečnostních důvodů systém pokročilého monitorování chyb a diagnostiky.

V září roku 2011 tato raketa vynesla na oběžnou dráhu první čínskou vesmírnou stanici Tiangong-1. Přesně o pět let později byla vynesena druhá čínská vesmírná stanice Tiangong-2, se kterou se v říjnu 2016 spojila díky Long March 2F loď Shenzhou s posádkou. Doposud proběhlo 13 startů, všechny úspěšné, z toho bylo provedeno 6 letů s posádkou. [1]



Obr. 3.29: Long March 2D [2]



Obr. 3.30: Long March 2F [2]



Obr. 3.31: Long March 3A [2]

### Long March 3A

V rodině nosných raket Long March 3 jsou momentálně používány tři typy raket. Long March 3A je tvořena třemi stupni a je využívána k umístění komunikačních a navigačních satelitů na GTO. Přestože unese poměrně malá užitečná zatížení, nosností se řadí mezi středně těžké



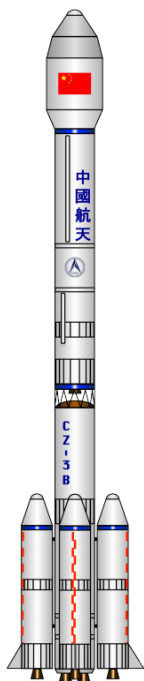
nosiče. Od roku 1994, kdy tento nosič poprvé vzlétl, bylo provedeno 25 startů a všechny byly úspěšné. [1]

### Long March 3B/E

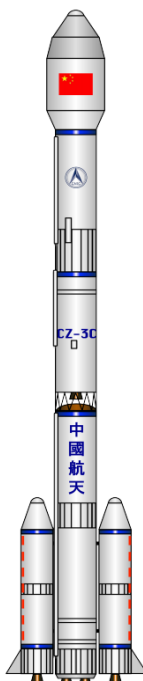
Dalším provozovaným členem je Long March 3B/E, jenž vychází z předchozího typu a z již nepoužívané verze Long March 3B. Oproti verzi 3B ho tvoří delší první stupeň, delší raketové posilovače a má o něco větší nosnost na GTO. Také se řadí mezi středně těžké nosiče, ale dokáže vynést velké náklady. V roce 2015 byla uvedena do provozu nová verze tohoto typu, Long March 3B/YZ-1, která je pojmenovaná podle nového prvního stupně. Ten je schopen opětovného spuštění a nabízí možnost umístit užitečné zatížení na vysokoenergetické oběžné dráhy. Long March 3B/E primárně slouží misím na GTO, ale je také schopná sloužit vědeckým misím na Měsíc bez posádky. Raketa byla poprvé vypuštěna v roce 2007 a od té doby proběhlo 34 startů, z toho jeden neúspěšný. [2]

### Long March 3C

Posledním funkčním typem z rodiny Long March 3 je typ 3C. Jde o třístupňovou nosnou raketu, jež má hodnotu nosnosti na GTO někde mezi typem 3A a 3B/E. Raketa je určena na vynášení nákladu o hmotnosti 3 000 kg až 3 800 kg na přechodovou dráhu ke geostacionární dráze. Také je ale občas využívána na podporu vědeckých misí. Vynesla na oběžnou dráhu Měsíce sondy určené k jeho průzkumu: Chang'e-2 a Chang'e 5-T1. Dále nosič podporoval Satelitní navigační a polohový systém Beidou a to tak, že vynesl 7 satelitů na GTO. [1]



Obr. 3.32: Long March 3B/E [2]



Obr. 3.33: Long March 3C [2]



Obr. 3.34: Long March 4B [2]

### Long March 4B

Nosiče rodiny Long March 4 byly původně navrženy k rozšíření nosičů z rodiny Long March 3 a k podpoře misí na GTO. Nicméně lépe slouží k vynášení nákladu na polární oběžné dráhy. Tento nosič je využíván při dopravě nákladu na nízkou oběžnou dráhu a na heliosynchronní dráhu Země. Třístupňová raketa vychází z původního návrhu Long March 4, který nikdy nebyl postaven. Oproti původnímu návrhu má větší nákladový prostor, vylepšený kontrolní,

telemetrický, sebedestrukční a řídicí systém, který osahuje nové pohonné prvky přispívající ke zvýšení kapacity rakety na oběžnou dráhu. [2]

### Long March 4C

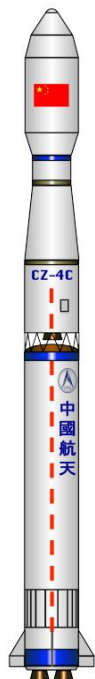
Stejně jako předchozí typ slouží tato raketa primárně k dopravě užitečného zatížení na nízkou oběžnou dráhu Země a na heliosynchronní dráhu. Ovšem oproti Long March 4B tento nosič koná starty většinou z nejstaršího čínského kosmodromu Jiuquan (z tohoto kosmodromu typ 4B startoval pouze jednou), odkud jsou podporovány meteorologické mise. Občas také ale startuje z novějšího kosmodromu Taiyuan (pro typ 4B obvyklý kosmodrom), kde jsou podporovány snímkové informační mise (viz příloha). Dále se pak raketa od předchozího typu liší tím, že je vybavena třetím stupněm, jenž je schopný opětovného vypuštění. Oba nosiče se nosností na LEO řadí mezi středně těžké. [1]

### Long March 5

Třístupňová nosná raketa Long March 5, je první raketou stejnojmenné řady, která se bude v následujících letech vyvíjet. Tento nosič vzlétl pouze dvakrát, poprvé v roce 2016 a v roce 2017, přičemž druhý start nedopadl úspěšně. Dalším typem by měl být Long March 5B a spoustu dalších variant těchto typů. Bude se jednat o volbu pro satelitní operátory po celém světě. Svou nosností se řadí mezi těžké nosné rakety. [2]

### Long March 6

Malý lehký třístupňový nosič, jenž má ještě menší nosnost na nízkou oběžnou dráhu Země než Long March 2C. Slouží vládě a operátorům satelitů. Jedná se o nosnou raketu využívající KPH, která bude primárně nabízena k obchodním účelům, protože ji tvoří velký nákladový prostor pro malé satelity. Její výhodou je snadná přeprava pomocí mobilního přívěsu z místa výroby a integrace až do kosmodromu. [2]



Obr. 3.35: Long March 4C [2]



Obr. 3.36: Long March 5 [2]



Obr. 3.37: Long March 6 [2]

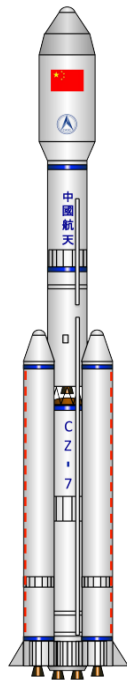
### Long March 7

Tato nosná raketa vznikla z důvodu náhrady nosiče Long March 2F. Jakmile proběhne více letů a raketa bude schopná přepravy lidské posádky do vesmíru, bude typ 2F nahrazen. Raketa je navržena pro lety na nízkou oběžnou dráhu a na heliosynchronní dráhu Země. Patrně ale nebude schopná letů na přechodovou dráhu ke geostacionární dráze. Její nosnost na nízkou oběžnou dráhu je poměrně vysoká a řadí se s ní mezi středně těžké nosiče. [2]

### Long March 11

Lehká nosná raketa vzlétla poměrně ve stejné době s nosnou raketou Long March 6. Obě mají velmi malou nosnost na nízkou oběžnou dráhu, ale tento nosič nabízí nosnost pouze 530 kg. Rozdílem mezi typem 6 a 11 je také to, že tento nosič využívá tuhé pohonné hmoty. Stejně jako typ 6 má výhodu snadné přepravy ze skladovacích prostor do kosmodromu a umožňuje tak rychlé umístění satelitů na oběžnou dráhu. Její výhodou je právě možnost skladování.

Doposud proběhly 4 úspěšné starty. Při všech byly rakety skladovány a převezeny v ochranných pláštích (krytech), ale nebylo zveřejněno, zda se pláště odstraní před startem nebo při startu samotném. Obchodní varianta této rakety se nazývá LandSpace-1. [1], [22]



Obr. 3.38: Long March 7 [2]



Obr. 3.39: Long March 11 [2]

#### b) START V ROCE 2018

### Kuaizhou 11

V roce 2018 bude poprvé vypuštěna nová lehká nosná raketa. Bude se jednat o čtyřstupňový nosič, který bude nabízet o něco větší nákladový prostor než jeho předchůdce Kuaizhou 1A. Oproti typu 1A bude schopen vynést na nízkou oběžnou dráhu Země o 1 200 kg více nákladu. Tím pádem bude raketa mohutnější a cena jednoho startu bude dražší. Zatím je cena jednoho startu odhadována na 15 milionů amerických dolarů. [2]

### c) VE VÝVOJI

#### **New Line 1**

Dvoustupňová lehká raketa se znovupoužitelným prvním stupněm je momentálně vyvíjena čínskou soukromou společností Link Space. Jejich zájmem se stala výroba vícestupňových obnovitelných nosných raket s komerčním využitím. Předlohou tohoto nosiče byla nosná raketa KC-SA-TOP, která byla využívána misemi pod oběžnou dráhou Země. Od roku 2018 se raketa začne testovat a poprvé by měla vzlétnout v roce 2021. Dále se pak plánuje vývoj znovupoužitelného druhého raketového stupně a větších verzí tohoto typu nosiče. [2], [23]

#### **OS – M1**

Mezi další čínské malé nosné rakety s komerčním využitím se v budoucnu zařadí i nosič OS-M1 od soukromé společnosti OneSpace. Tato soukromá společnost má významnou podporu od civilního ministerstva SASTIND a od různých investičních firem Číny. Bude se jednat o třístupňový nízkonákladový lehký nosič, který bude schopen přepravy užitečného zatížení na LEO a SSO. Měl by přepravovat zejména malé satelity. Pravděpodobně se bude jednat o znovupoužitelný nosič. Očekává se, že by raketa měla průměrně startovat jedenkrát týdně a na přípravu startu bude mít 2 dny. Do budoucna se plánuje vývoj větších znovupoužitelných verzí tohoto typu nosiče, které by měly být vybaveny 2 až 4 posilovači na TPH a budou nabízet 2 typy aerodynamických krytů. [2], [24]



Obr. 3.40: Kuaizhou 11 [2]



Obr. 3.41: New Line 1 [2]



Obr. 3.42: OS-M1 [2]

Tab. 3.4: Charakteristické hodnoty nosných raket Číny [2]

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
Kaituozhe 2	40 000	35	2,7	-	350	250
Kuaizhou 1/1A	30 000	19,4	1,4	-	300	250
Kuaizhou 11	78 000	20	2,2	-	1 500	1 000
Long March 2C	233 000	42	3,4	1 250	3 850	1 900
Long March 2D	232 250	41	3,4	-	3 500	1 300
Long March 2F	464 000	62	3,4	-	8 400	-
Long March 3A	241 000	52,5	3,4	2 600	8 500	-
Long March 3B/E	458 970	56,3	3,4	5 500	12 000	5 700
Long March 3C	345 000	54,8	3,4	3 800	-	-
Long March 4B	249 200	44,1	3,4	1 500	4 200	2 800
Long March 4C	250 000	45,8	3,4	1 500	4 200	2 800
Long March 5	879 000	57	5	14 000	25 000	-
Long March 6	103 217	29	3,4	-	1 500	1 080
Long March 7	594 000	53,1	3,4	-	13 500	5 500
Long March 11	58 000	20,8	2	-	530	400
New Line 1	33 000	20,1	1,8	-	nezveřejněno	200
OS-M1	nezveřejněno	14,8	1	-	205	143

Tab. 3.5: Doplnující údaje týkající se startů čínských nosných raket [2], [18], [19], [20], [21], [22]

Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milion \$]
Kaituoze 2	EXPACE/PLA	CASIC	2017	1	100	nezveřejněno
Kuaizhou 1/1A	EXPACE/PLA	CASIC	1: 2013 1A: 2017	1: 2 1A: 1	100	3
Kuaizhou 11	EXPACE/PLA	CASIC	2018	-	-	15
Long March 2C	PLA/CGWIC	CALT	1982	45	98	30
Long March 2D	PLA/CGWIC	SAST	1992	39	97	30
Long March 2F	PLA/CGWIC	CALT	1999	13	100	nezveřejněno
Long March 3A	PLA/CGWIC	CALT	1994	25	100	70
Long March 3B/E	PLA/CGWIC	CALT	2007	46	98	70
Long March 3C	PLA/CNSA	CALT	2008	15	100	70
Long March 4B	PLA/CGWIC	SAST	1999	29	97	30
Long March 4C	PLA/CGWIC	SAST	2006	24	96	30
Long March 5	PLA/CNSA/ CGWIC	CALT	2016	2	50	nezveřejněno
Long March 6	PLA/CGWIC	SAST/CALT	2015	2	100	nezveřejněno
Long March 7	PLA/CGWIC	SAST/CALT	2016	2	100	nezveřejněno
Long March 11	PLA/LandSpace	CALT	2015	4	100	5,3
New Line 1	LinkSpace	LinkSpace	2021	-	-	postra.: 4,5 obno.: 2,3
OS-M1	OneSpace	OneSpace	2019	-	-	nezveřejněno

\*, „postra.“ = postradatelná; „obno.“ = obnovitelná

### 3.4.3 RUSKO

Vývoj ruských nosných raket je téměř celý veden státními orgány a státními podniky. Hlavními výrobci a vývojáři jsou státní podniky Khrunichev State Research and Production Space Center a JSC SRC. Vývoj doplňuje ukrajinský státní podnik PA Yuzhmash. Hlavními provozovateli jsou:

- Vzdušně-kosmické síly Ruské federace (VKS),      - International Launch Services (ILS),
- ruská státní korporace Roscosmos,                      - Sea Launch AG,
- dceřiná společnost korporace Roscosmos: Glavkosmos [2]

#### a) JIŽ V PROVOZU

#### Angara A5

Státní kosmické vědeckovýrobní středisko M. V. Chruničeva vyvinulo tuto raketu s prvotní myšlenkou nahradit všechny nosné rakety, které jsou k dispozici kromě řady Soyuz. Spolu s nosičem Proton M patří mezi ruské těžké rakety. Na rozdíl od typu Proton M nabízí Angara A5 větší nosnost na GTO a LEO, větší nákladový prostor a spaluje čistší směs pohonných hmot.

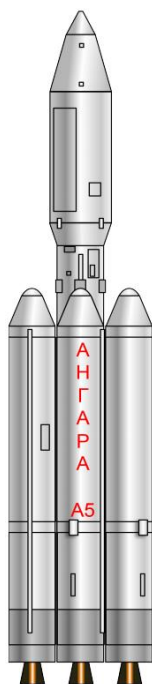
Angara A5 má ale oproti druhé těžké raketě snížený výkon. Dvoustupňový popřípadě třístupňový nosič je doplněn 4 posilovači na KPH typu URM-1. Po zavedení bude tímto nosičem Proton M nahrazen. [1]

### Dnepr

Třístupňová nosná raketa Dnepr vznikla přeměnou mezikontinentálních balistických raket R-36, které byly ve velkém množství používány za doby existence Sovětského svazu. Komponenty těchto raket, které vznikly v Sovětském svazu, jsou předělávány státním podnikem PA Yuzhmash umístěným na Ukrajině. Momentální politické problémy mezi Ruskem a Ukrajinou mohou mít vážný dopad na vývoj tohoto nosiče. Dnepr je poháněn motory na KPH, přesněji na  $N_2O_4$ /UDMH (viz minulá podkapitola). Jeho hlavním úkolem je přeprava středně těžkého užitečného zatížení nebo skupin malých satelitů na oběžnou dráhu Země. [1]

### Proton M

Řada nosných raket Proton vznikla jako možnost přenosu nákladu vlády a operátorů satelitů na synchronní dráhu Země. Bud' může být využíván jako silnější čtyřstupňová verze nebo pro případy přepravy na nízkou oběžnou dráhu jako třístupňová. Nabízí dva typy aerodynamického krytu, které se liší délkou. Tato raketa bude pravděpodobně v následujících letech vyřazena z provozu. [2]



Obr. 3.43: Angara A5 [2]



Obr. 3.44: Dnepr [2]



Obr. 3.45: Proton M [2]

### Rockot

Mezi další nosiče vzniklé předěláním starých balistických raket patří třístupňový Rockot. Využívá renovované komponenty mezikontinentálních balistických raket SS-19. Původní verzí byl Rockot-K, který se ale po prvních třech startech předělal na větší verzi Rockot-KM. Je vyrobena tak, aby unesla větší náklad než její předchůdce. Aktuálně je používána pouze tato verze. Nosností na LEO se Rockot-KM řadí mezi lehké nosiče. Je využíván výhradně na vědecké pozorování Země a na mise zkoumající klima. Byl také 11krát využit mezinárodními zákazníky. [2]



## Soyuz FG

Jednou z používaných raket rodiny Soyuz a stejnojmenné řady je typ FG, jenž je vlastně vylepšený již nepoužívaný typ Soyuz U. Vylepšení se týká hlavně motorů prvního a druhého stupně: RD-108A a RD-107A. Používá 4 posilovače na KPH, které zvyšují výkon této nosné rakety. Typ FG je určen k přepravě posádky a nákladních modulů kosmické lodi Progress na Mezinárodní vesmírnou stanici. Tento typ může být vybaven horním stupněm Fregat. Stupeň Fregat je využíván určitými misemi, jako například mise na doplňování satelitní konstelace Globalstar a mise Mars Express zkoumající planetu Mars. Nosič Soyuz FG bude s velkou pravděpodobností nahrazen nosiči řady Soyuz 2, protože jsou vybaveny digitálním řídicím systémem, zatímco tento typ je vybaven starým analogovým řídicím systémem. [2]

## Soyuz 2.1a/b

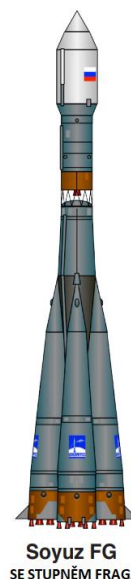
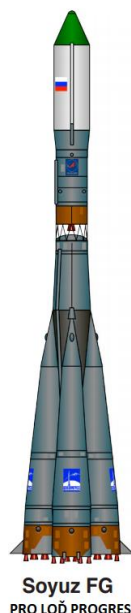
Rodina Soyuz se rozrostla o řadu Soyuz 2 uvedením do provozu první verze 2.1a v roce 2004. Původní verze 2.1a přišla s větším nákladovým prostorem a náhradou starého analogového řídicího systému digitálním. Náhrada řídicího systému a užitím flexibilnější startovací trajektorie způsobila vzrůst nosnosti tohoto nosiče. V roce 2006 byl představen Soyuz 2.1b, který se od verze 2.1a liší užitím jiného motoru pro druhý stupeň (2.1a: RD-0110, 2.1b: RD-0124). Řada nosných raket Soyuz 2, také nazývaná Soyuz ST, je výhradně využívána komerčně. Výhodou nosných raket této řady je, že jsou schopny přepravovat satelity prakticky na jakoukoliv oběžnou dráhu Země. [2]



Obr. 3.46: Rockot [2]



Obr. 3.47: Soyuz FG [2]



Obr. 3.48: Soyuz 2.1a/b [2]

## Soyuz 2.1v

Dalším nosičem řady Soyuz 2 je typ 2.1v, formálně nazývaný Soyuz 1. Od ostatních používaných nosných raket této rodiny se liší tím, že není vybaven posilovači. Dále se od ostatních liší tím, že je první stupeň poháněn jedním motorem 14D15, jenž je upravenou verzí motoru NK-33 použitého lunární raketou N-1. Tento motor bude ale pravděpodobně nahrazen motorem RD-191 (motory RD využívají ostatní nosiče Soyuz). Horní stupeň s názvem Volga může být využíván k určitým misím, jako je umístění nákladu na oběžnou dráhu ve výšce až 1 500 km. Soyuz 2.1v vznikl za účelem náhrady lehkého nosiče Rockot. [2]



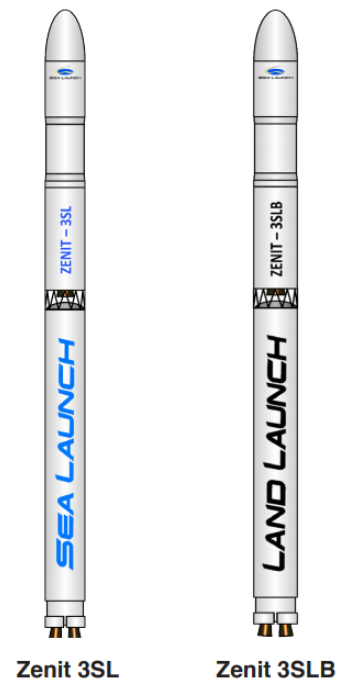
## Zenit

Řada nosných raket Zenit byla vyvinuta ještě za doby působení Sovětského svazu. Tehdy s ní měli výrobci velké plány, ty ale byly po rozpadu Sovětského svazu zapomenuty. Momentálně funkční verze je Zenit 3SL a Zenit 3SLB. Tyto verze tvoří 3 stupně a na výrobě se podílí více zprostředkovatelů a dodavatelů komponentů najednou. Nejvýznamnějším dodavatelem je ukrajinský státní podnik PA Yuzhmash. Bohužel zhoršení vztahů Ukrajiny a Ruska v posledních letech bude mít vážný negativní dopad na vývoj této rakety.

Obě provozované verze slouží k obchodnímu využití. Jsou schopny přepravovat náklad na přechodovou dráhu ke stacionární dráze Země. Nosnost ovšem není moc vysoká. Verze 3SLB je modernější a vyvinutější. Existuje také verze 2SLB, která je prakticky stejná jako 3SLB, ale tvoří ji pouze dva stupně. Raketa bude pravděpodobně v následujících letech vyřazena z provozu, z důvodu výše zmíněných problémů. [2]



Obr. 3.49: Soyuz 2.1v [2]



Obr. 3.50: Zenit [2]

### b) START V ROCE 2018

## Angara 1.2

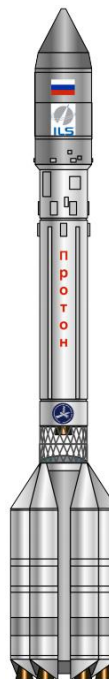
Nejmenší verze řady Angara je středně těžký nosič Angara 1.2. I když byl v roce 2014 proveden testovací let s verzí Angara 1.2PP („pervyy polyot“ aneb „první let“), vylepšená verze 1.2 poprvé vzlétne až v roce 2018. Státní kosmické vědeckovýrobní středisko M. V. Chruščeva plánuje touto raketou nahradit střední a malé nosiče, jako například Rockot a Dnepr. Stejně jako ostatní verze řady Angara tvoří jádro prvního stupně Univerzální raketový modul URM-1 využívající KPH. Hlavním úkolem nosiče bude vynášení satelitů na nízkou oběžnou dráhu a heliosynchronní dráhu Země. I když se nosností na LEO řadí mezi středně těžké nosiče, jeho nosnost je poměrně malá a nákladový prostor také. [2]

## Proton Medium

V tomto případě jde o dvoustupňovou verzi rakety Proton M, jež je čtyřstupňová. Oproti verzi M je odebrán třetí stupeň a mezistupeň je upraven. Stupeň Breeze-M, který je u verze M používán jako čtvrtý, lze zde použít jako třetí. Dalším rozdílem, že Proton Medium bude nabízet 3 typy aerodynamického krytu (Proton M pouze dva). Nevýhodou je ale jeho menší nosnost na GTO a menší výkon z důvodu odebrání třetího stupně. Raketa je navržena tak, aby držela krok s raketami jako je Falcon 9 od společnosti SpaceX. Hlavní využití najde ve vládních misích a u obchodních operátorů satelitů na stacionární dráze Země. [2]



Obr. 3.51: Angara 1.2 [2]



Obr. 3.52: Proton Medium [2]

### c) VE VÝVOJI

## Angara A3

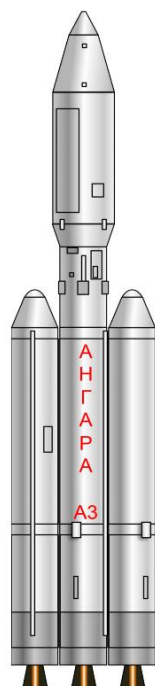
Středně těžkou verzí řady Angara je plánovaný typ A3. Jádrem bude jako obvykle v řadě Angara tvořeno modulem URM-1 a stejného typu budou další dva posilovače. Doposud zveřejněné plány znázorňují poměrně velký nákladový prostor a vyšší nosnost na nízkou oběžnou dráhu Země. Angara A3 je zatím pravděpodobně pouze orientační koncept nové středně těžké rakety, protože od zveřejnění prvotních informací o této raketě, nebyly zveřejněny nové. [1]

## Soyuz 5

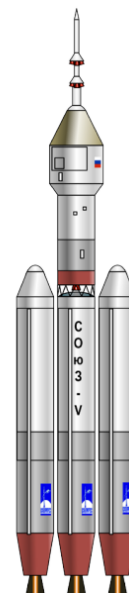
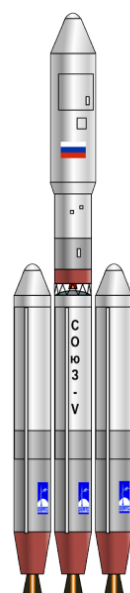
Momentálně vyvíjená řada Soyuz 5 bude zcela odlišná od ostatních řad Soyuz a bude se jednat o nový systém nosné rakety. Bude se jednat o první ruskou raketu spalující metan. Dalším možným použitelným palivem bude kapalný kyslík se zkapalněným zemním plynem. Má nahradit nosič Soyuz FG určený k přepravě lidské posádky. Nosností by měl překonat i rodinu Angara.

Tvrdí se, že je tato rodina nosných raket vyvíjena za účelem prokázání využití kapalného kyslíku se zkapalněným zemním plynem ve vesmírném průmyslu a prokázání potenciálu opětovného použití ruských raket. Jsou ale důkazy, že vláda vyvíjí Soyuz 5, aby se vyrovnala americkým společnostem Blue Origin a SpaceX vyrábějících stejný typ nosných raket. Z důvodu tohoto srovnávání bude cena nejjednodušší verze cca 50 milionů amerických dolarů.

Bude k dispozici v nejméně třech variantách. Jedna z nich ponese nejnovější ruskou kosmickou loď nové generace pro lidskou posádku s pracovním názvem „Budoucí pilotovaný dopravní systém“ (PTK NP). [2], [29]



Obr. 3.53:  
Angara A3 [2]



Obr. 3.54: Soyuz 5 [2]

Tab. 3.6: Charakteristické hodnoty nosných raket Ruska [2], [25], [26]

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
Angara 1.2	171 000	42,2	2,9	-	3 000	1 990
Angara A3	481 000	45,8	8,9	2 400-3 600	14 000	2 570
Angara A5	773 000	64	8,9	5 400-7 500	24 000	nezveřejněno
Dnepr	201 000	34,3	3	-	3 200	2 300
Proton M	705 000	58,2	7,4	6 270	23 000	-
Proton Medium	655 000	53	7,4	5 000	-	-
Rocket	107 400	29,2	2,5	-	1 900	1 600
Soyuz FG	313 000	51	10,3	-	7 800	4 500
Soyuz 2.1a/b	305 000	49,5	10,3	3 250	4 850	4 400
Soyuz 2.1v	157 000	44	2,95	-	3 000	1 400
Soyuz5	200 000 - 690 000	50 - 57	3,6	nezveřejněno	3 000 – 26 000	nezveřejněno
Zenit	470 000	59	3,9	3SL: 6 160 3SLB:3750	-	-

Tab. 3.7: Doplnující údaje týkající se startů ruských nosných raket [2], [27], [28]

Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milion \$]
Angara 1.2	VKS/ Roscosmos/ ILS	Khrunichev	2018	-	-	nezveřejněno
Angara A3	VKS/ Roscosmos/ ILS	Khrunichev	nezveřejněno	-	-	nezveřejněno
Angara A5	VKS/ Roscosmos/ ILS	Khrunichev	2014	1	100	100
Dnepr	GK Launch Services	PA Yuzhmash	1999	22	95	29
Proton M	VKS/ Roscosmos/ ILS	Khrunichev	2001	102	91	65
Proton Medium	VKS/ Roscosmos/ ILS	Khrunichev	2018	-	-	< 65
Rocket	VKS/Eurockot	Khrunichev	2000	28	93	41,8
Soyuz FG	VKS/ Glavkosmos	JSC SRC Progress	2001	62	100	50 - 213
Soyuz 2.1a/b	VKS/ Arianespace/ GK Launch Services	JSC SRC Progress	a: 2004 b: 2006	a: 34 b: 37	a: 94 b: 95	80
Soyuz 2.1v	VKS/GK Launch Services	JSC SRC Progress	2013	4	100	40
Soyuz5	VKS/GK Launch Services	JSC SRC Progress	2022	-	-	50 +
Zenit	VKS/Sea Launch AG	PA Yuzhmash	1985	84	88	85 - 95

### 3.4.4 JAPONSKO

#### a) JIŽ V PROVOZU

#### Epsilon

Jedním z aktuálně Japonskem používaných nosičů je Epsilon. Tato nosná raketa je odvozená z již nepoužívané malé nosné rakety M-V od společnosti Nissan. Je nabízena ve dvou konfiguracích. Jednou je standartní konfigurace se třemi stupni na TPH, adaptérem užitečného zatížení a aerodynamickým krytem. Druhou je doplňková konfigurace, která je vybavena čtvrtým posilujícím stupněm „Post boost stage“, který používá jako palivo hydrazin. Nosností na nízkou oběžnou dráhu Země se tato nosná raketa řadí mezi lehké nosné rakety a jejím hlavním úkolem je přeprava malých satelitů na LEO a polární dráhy. [1]

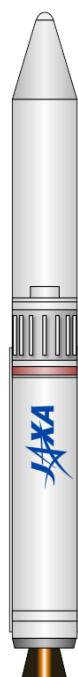
#### H-IIA/B

Rodinu nosných raket H-II tvoří aktuálně typ H-IIA a H-IIB. Oba typy jsou dvoustupňové a nosností na LEO se řadí na středně těžké nosiče.

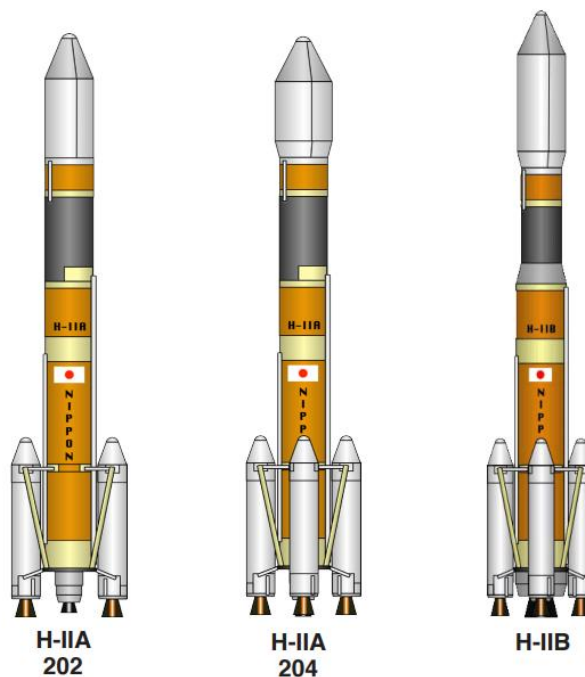
Typ H-IIA je nabízen ve dvou verzích, které se liší počtem použitých posilovačů dodávaných společností Nissan. Verze H-IIA 202 je vybavena dvěma posilovači a verze H-IIA 204 čtyřmi posilovači. Všechny posilovače jsou poháněny tuhým palivem. Typ A je vybaven kryogenním jádrem na KPH, horním stupněm na KPH, spojovacím adaptérem a krytem užitečného zatížení. Tento typ je používán k dopravě různých satelitů na LEO, GTO a do vzdálenějších míst.

Typ H-IIB je dostupný pouze v jedné verzi se 4 vylepšenými posilovači na TPH od společnosti Nissan. Je o něco delší než předchozí typ. Je převážně používán k přepravě bezpilotní nákladní kosmické loď H-II Transfer Vehicle k Mezinárodní vesmírné stanici. Tento typ je také ale nabízen ke komerčnímu využití (přeprava satelitů).

Přestože jsou tyto dva typy hlavními nosnými raketami Japonska, budou pravděpodobně po roce 2020 nahrazeny aktuálně vyvíjeným nosičem H3. [2], [31]



Obr. 3.55: Epsilon [2]



Obr. 3.56: H-IIA/B [2]

### SS-520-5

Nosič SS-520-5 je druhým pokusem o výrobu velmi malé nosné rakety, která bude vynášet opravdu velmi malé užitečné zatížení (maximálně 4 kg). První typ se nazýval SS-520-4, který byl ale neúspěšný. Oba typy vycházejí z nosiče SS-50, který se třístupňovou verzí uskutečnil 2 lety pod oběžnou dráhou Země.

Úkolem dvoustupňového nosiče SS-520-5 je shromažďování různých dat potřebných k dalším misím ostatních japonských raket. Cena letů tohoto nosiče by měla být malá, ale přesná cena není zveřejněná. První start této nosné rakety proběhl 3. února 2018, který byl nečekaně úspěšný. Tím se SS-520-5 stala nejmenším nosičem přepravující užitečné zatížení na oběžnou dráhu v historii vůbec. [2]

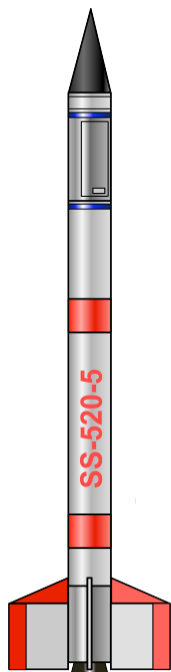
## b) VE VÝVOJI

**H3**

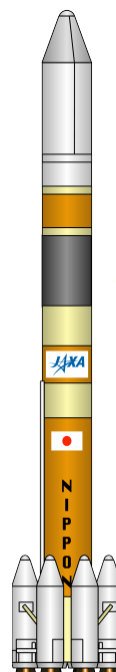
Aktuálně jedinou vyvíjenou nosnou raketou v Japonsku je H3, která vzniká za spolupráce japonské vlády a společnosti Mitsubishi. Hlavním rozdílem oproti jiným japonským nosičům je cena. Japonsko chce snížit náklady vynaložené na výstavbu a start tohoto nosiče na ceny podobné raketám jako je Falcon 9. Cena základní verze by měla být přibližně o polovinu nižší než u nosičů H-IIA a H-IIB.

Nosná raketa bude vybavena dvěma stupni poháněnými kapalným kyslíkem a vodíkem. Bude moci být doplněna až 6 posilovači na TPH od společnosti Nissan. Dle počtu posilovačů budou uvedeny různé verze tohoto nosiče.

Přestože by japonská vláda touto středně těžkou nosnou raketou ráda posílila svoji pozici na mezinárodním obchodním trhu, jejím hlavním úkolem bude vynášet vládní satelity na oběžnou dráhu. [1]



Obr. 3.57: SS-520-5 [2]



Obr. 3.58: H3 [2]

Tab. 3.8: Charakteristické hodnoty nosných raket Japonska [2]

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
Epsilon	90 800	24,4	2,5	-	700 - 1 200	450
H-IIA/B	89 000 - 530 000	53 - 57	4	4 000 - 6 000	10 000 - 16 500	3 600 - 4 400
H3	nezveřejněno	63	5,2	6 500	10 000	4 000
SS-520-5	2 600	9,5	0,5	-	4	< 4

Tab. 3.9: Doplnující údaje týkající se startů japonských nosných raket [3], [30], [31]

Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milion \$]
Epsilon	JAXA	IHI	2013	3	100	39
H-IIA/B	MHI Launch Services	Mitsubishi Heavy Industries	A: 2001 B: 2009	A: 38 B: 6	A: 97 B: 100	90 - 112,5
H3	MHI Launch Services	Mitsubishi Heavy Industries	2020	-	-	50 - 70
SS-520-5	Canon/JAXA	Canon/JAXA	2018	1	100	nezveřejněno

### 3.4.5 EVROPSKÁ UNIE

V Evropské unii je hlavním provozovatelem nosných raket ArianeGroup, což je společný podnik evropské letecké společnosti Airbus a francouzské společnosti Safran. Hlavním výrobcem je mnohonárodní korporace Arianespace. Obě společnosti mají hlavní ředitelství ve Francii. [2]

#### a) JIŽ V PROVOZU

#### Ariane 5 ECA/ES

Z řady nosných raket Ariane 5 jsou využívány pouze 2 dvoustupňové verze, ECA a ES.

Nosič Ariane 5 ECA je tvořen prvním stupněm na KPH, kryogenním horním stupněm, dvěma posilovači, adaptérem, který je schopný uschovat dva satelity, a aerodynamický kryt. Verze ECA je uzpůsobena k vynášení právě dvou komunikačních satelitů působících na geostacionární dráze. S velkou pravděpodobností bude tato raketa v roce 2023 nahrazena typem Ariane 6.

Nosič Ariane 5 ES má podobnou konfiguraci, ale jeho rozdíl spočívá v pohonu horního stupně. Využívá pohonnou látku, která se dá skladovat po delší dobu. Což je jeho výhoda a může být tudíž využit na delší mise. Býval využíván k přepravě kosmické lodi Automated Transfer Vehicle (ATV) na Mezinárodní vesmírnou stanici a k vynášení velkých satelitů jako je Envisat. Bude ale sloužit Navigačnímu systému Galileo. [2]

#### Vega

Malý čtyřstupňový nosič působící pod štítkem EU začal svůj vývoj ve spolupráci Evropské kosmické agentury (ESA) a příspěvků od Italské kosmické agentury (ISA), Národního centra kosmického výzkumu (CNES) ve Francii a od italské společnosti Avio SpA. Úkolem této nosné rakety je umisťovat náklad na LEO a polární oběžné dráhy. Hlavním nákladem bývají satelity sloužící k průzkumu Země nebo satelity sloužící vědeckým misím. V roce 2018 by se měl konat zahajovací start nové verze tohoto nosiče, Vega-C. Jedná se o vylepšenou verzi s výhodami jako je snížená cena a příležitost pro společnosti vyrábějící malé satelity. Na rok 2024 je plánovaná další vylepšená verze, Vega-E. Ta by měla být silnější a levnější jak verze C. Provozovatelem je francouzská společnost Arianespace. [2]

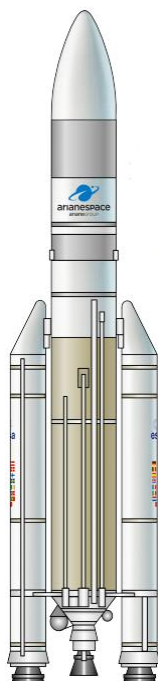
## b) VE VÝVOJI

**Ariane 6**

Vývoj tohoto nosiče, který by měl poprvé vzlétnout v roce 2020, úzce souvisí s vývojem nosiče Vega-C. Ariane 6 bude totiž jako posilovač na TPH využívat první stupeň rakety Vega-C, P120C. Záměr vzniku tohoto nosiče je náhrada typu Ariane 5 ECA v roce 2023.

Ariane 6 bude nabízen ve dvou verzích, které budou určovány počtem použitých posilovačů: Ariane 62 (2 posilovače) a Ariane 64 (4 posilovače). Ariane 62 bude uzpůsoben na jednorázové starty na GTO a k přepravě užitečného zatížení určeného k hlubokému zkoumání vesmíru. Ariane 64 bude primárně sloužit dopravě nákladu dvojího určení na GTO. Malé a středně velké náklady budou vynášeny nosiči Soyuz 2.1 a/b nebo Vega, jež jsou také provozovány společností Arianespace.

Tyto nosiče by měly startovat maximálně 12 krát do roka. Toto tempo je zvoleno z důvodu požadovaného snížení cen. [2]



Obr. 3.59: Ariane 5 ECA/ES [2]



Obr. 3.60: Vega [2]



Ariane 62



Ariane 64

Obr. 3.61: Ariane 6 [2]

Tab. 3.10: Charakteristické hodnoty nosných raket EU [2]

Název	Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
<b>Ariane 5 ECA/ES</b>	780 000	54,8	5,4	10 500	20 000	10 000 +
<b>Ariane 6</b>	530 000 - 860 000	63	5,4	4 500 - 10 500	20 000	4 500
<b>Vega</b>	133 770	29,9	3	-	1 963	1 430



Tab. 3.11: Doplnující údaje týkající se startů nosných raket EU [2], [32], [33]

Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milion \$]
Ariane 5 ECA/ES	Arianespace	ArianeGroup	ECA:2002 ES:2008	73	98	178
Ariane 6	Arianespace	ArianeGroup	2020	-	-	94 - 117
Vega	Arianespace	ELV SpA	2012	11	100	37

### 3.4.6 ŠPANĚLSKO

I když je Španělsko členskou zemí Evropské Unie, v oblasti vesmírného průmyslu vystupuje pod vlastním štítem. Hlavním faktorem této „samostatnosti“ je to, že jsou momentálně ve Španělsku provozovateli, výrobci a vývojáři nosných prostředků dvě soukromé společnosti. Společnost PLD Space se zaměřuje na malé nízko nákladové nosiče a společnost Zero 2 Infinity se zaměřuje na vývoj stratosférických balónů a nosičům z nich vycházejících. [1]

#### a) VE VÝVOJI

#### Arion 2

Soukromá španělská společnost PLD Space momentálně vyvíjí nosnou raketu Arion 2, která by měla být zcela znovupoužitelná. Bude uvedena na trh jako nosná raketa užívající komponenty nespádající pod americké předpisy mezinárodního obchodu se zbraněmi (ITAR). Jedná se o malý třístupňový nosič, který bude pravděpodobně sloužit k přepravě užitečného zatížení na nízkou oběžnou dráhu Země. Už teď má spoustu podepsaných smluv s různými zákazníky a dostává se mu podpory jak od španělské vlády, tak i od některých evropských společností. Společnost PLD Space bude tento nosič od roku 2023 nabízet k přepravě až pětikilogramového nákladu na Měsíc. [1]



Obr. 3.62: Arion 2 [2]



Obr. 3.63: Bloostar [34]

**Bloostar**

Soukromá španělská společnost Zero 2 Infinity momentálně vyvíjí zvláštní typ nosné rakety, která vychází ze stratosférického balónu. Její toroidní tvar je tvořen třemi vnořenými stupni a objemným pláštěm užitečného zatížení. Tento plášť má výhodu, že pod něm uložený náklad nemusí být složený. Nosná raketa Bloostar bude schopna umísťovat satelity na téměř jakoukoliv oběžnou dráhu Země. Nákladový prostor bude nabízet velký prostor. Nevýhodou tohoto nosiče ovšem může být obtížná kontrolovatelnost. [2], [34]

Tab. 3.12: Charakteristické hodnoty nosných raket Španělska [2]

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
<b>Arion 2</b>	7 000	19,2	1,2	-	150	-
<b>Bloostar</b>	nezveřejněno	nezveřejněno	nezveřejněno	-	nezveřejněno	75

Tab. 3.13: Doplnující údaje týkající se startů španělských nosných raket [2], [38]

Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milion \$]
<b>Arion 2</b>	PLD Space	PLD Space	2021	-	-	4,8 - 5,5
<b>Bloostar</b>	Zero2Infinity	Zero2Infinity	2019	-	-	4

**3.4.7 VELKÁ BRITÁNIE**

Ve Velké Británii vznikla soukromá společnost Horizon Space Technologies zaměřující se na snižování peněžních nákladů vesmírné dopravy. Tato poměrně mladá společnost zvažuje spolupráci s evropskou vesmírnou agenturou European Space Agency (ESA) z důvodu využití kosmodromu Guiana Space Center a s australskou vládou z důvodu využití kosmodromu Woomera (viz příloha). [1]

## a) VE VÝVOJI

**Black Arrow 2**

Black Arrow 2 je dvoustupňový momentálně vyvíjený nosič, který bude prvním nosičem vyrobeným ve Velké Británii od doby ukončení provozu nosné rakety Black Arrow 1. Ta byla používána v 60. letech a v roce 1971 byl její provoz ukončen. Novodobá verze bude malá a bude mít obchodní využití. První lety této rakety by měly být testovací a měly by probíhat pod oběžnou dráhou Země. Budou vedeny podél západní trajektorie nad Atlantským oceánem. Další pozdější lety budou směřovány na sever, z důvodu podpory polárních misí. [2]

Tab. 3.14: Charakteristické hodnoty nosných raket Velké Británie [2]

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
<b>Black Arrow 2</b>	nezveřejněno	25	1,8	-	500	350



Obr. 3.64: Black Arrow 2 [2]

Tab. 3.15: Doplnující údaje týkající se startů nosných raket Velké Británie [2]

Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milión \$]
Black Arrow 2	Horizon Space Technologies	Horizon Space Technologies	2019	-	-	6,12

### 3.4.8 INDIE

Kosmická vládní agentura Indian Space Research Organization (ISRO) a Antrix, jež je komerční složkou spadající pod ISRO, jsou velmi závislé na evropské Arianespace. Nosná raketa Ariane 5 ECA slouží Indii k přepravě užitečného zatížení na GEO. Nosné prostředky Indie ještě nemají plnohodnotné vlastnosti pro přepravu nákladu na GEO a proto se Indie snaží vyvinout nové vylepšené nosné rakety, které by tuto závislost na Arianespace odbouraly. [1]

#### a) JIŽ V PROVOZU

#### GSLV

Geosynchronous Satellite Launch Vehicle (GSLV) je jedna z momentálně provozovaných nosných raket Indie. Jde o projekt, který měl původně za cíl dosáhnout kvalitní nosnosti této rakety na synchronní dráhu Země. Slouží k vynášení indických komunikačních satelitů. I když se tento nosič se řadí mezi středně těžké rakety, jeho nosnost je poměrně malá.

Aktuálně je k dispozici verze Mk II. Ta obsahuje tři stupně, využívající pohon na TPH, KPH a kryogenní pohon zároveň. Pro zvýšení výkonu využívá posilovače právě na KPH. Typ nosné rakety GSLV není považován za spolehlivý, protože ze 12 provedených letů byly 3 neúspěšné a jeden částečně neúspěšný. Proto provozovatel ISRO hodlá tento nosič nahradit raketou LVM3. [2], [35]

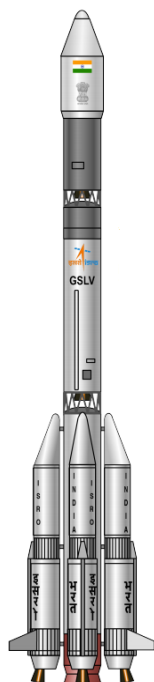
## LVM3

LVM3 je jiný název pro indickou středně těžkou nosnou raketu GSLV Mk III. Touto raketou chce Indie docílit úplné spolehlivosti v dopravě satelitů na synchronní dráhu Země. Časem bude tento nosič vybaven novým kryogenním stupněm, který zvýší nosnost rakety. Momentálně se skládá ze dvou stupňů a dvou posilovačů. První testovací let byl proveden pod oběžnou dráhou Země. [2]

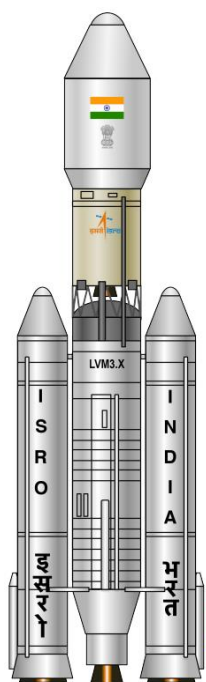
## PSLV

PSLV je zkrácený název pro Polar Satellite Launch Vehicle, který Indie používá od roku 1993. Je indickou doposud nejpoužívanější raketou a má i přes dvě velká selhání vysokou spolehlivost. Jeho nosnost je ale poměrně malá. Vynáší malé a středně velké náklady na LEO, přičemž není běžné, aby tento nosič přepravoval více satelitů najednou. Příležitostně vynáší malé satelity na GEO.

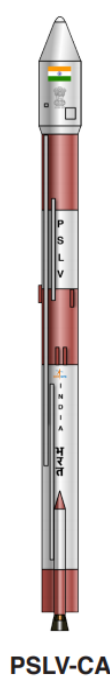
Je nabízen ve třech verzích. Základní verze PSLV-CA je tvořena čtyřmi stupni bez posilovačů. Standardní běžně používaná je verze PSLV-G a obsahuje 6 posilovačů na TPH. Třetí verze PSLV-XL je prakticky stejná jako druhá verze, ale 6 posilovačů je o něco delších. Jsou delší, aby uchovaly více paliva a tím pádem prodloužily i dobu hoření. [2]



Obr. 3.65: GSLV [2]



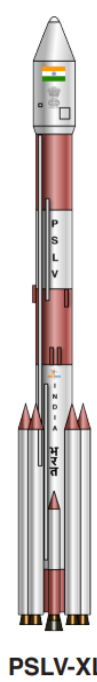
Obr. 3.66: LVM3 [2]



PSLV-CA



PSLV-G



PSLV-XL

Obr. 3.67: PSLV [2]

Tab. 3.16: Charakteristické hodnoty nosných raket Indie [2]

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
<b>GSLV</b>	414 750	49,1	2,8	2 500	5 000	-
<b>LVM3</b>	640 000	43,4	4	4 000	8 000	-
<b>PSLV</b>	CA: 230 000	44	2,8	1 425	3 250	1 750
	G: 295 000					
	XL: 320 000					

Tab. 3.17: Doplnující údaje týkající se startů indických nosných raket [2], [35], [36]

Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milion \$]
GSLV	ISRO/Antrix	ISRO	2001	12	75	47
LVM3	ISRO/Antrix	ISRO	2014	2	100	60
PSLV	ISRO/Antrix	ISRO	1993	43	95	21 - 31

### 3.4.9 ÍRÁN

Iranian Space Agency je vládní kosmická agentura, která je momentálně jediným výrobcem a zprostředkovatelem nosných raket v Íránu. [1]

#### a) JIŽ V PROVOZU

##### Safir

Jediná aktuálně používaná nosná raketa Íránu je Safir. Jedná se o malý nosič a velmi malou nosnost. První testovací let byl z velké části utajován, ale ví se, že šlo o testovací let pod oběžnou dráhu Země. Dalších 6 následujících letů bylo již na oběžnou dráhu. Spolehlivost tohoto nosiče je velmi nízká.

Tato nosná raketa je nabízena ve čtyřech verzích. Safir 1 byl použit na let pod oběžnou dráhu a na první let na oběžnou dráhu Země. Safir 1A byl použit pouze jednou k vynesení satelitu Rasad na oběžnou dráhu Země. Safir 1B byl také použit pouze jednou, ale oproti předchozím verzím má vylepšený druhý stupeň s větším tahem. Čtvrtá verze Safir 1B+ má nový vylepšený třetí stupeň s tryskami na studený plyn pro lepší manipulaci. Ovšem 2 lety ze 3 skončily neúspěšně.

Je známo, že Írán značně spolupracuje se Severní Koreou na vývoji raket. Pravděpodobně je třetí stupeň nosiče Safir použit i u korejského nosiče Unha jako třetí stupeň. [1], [37]



Obr. 3.68: Safir [2]

Tab. 3.18: Charakteristické hodnoty nosných raket Íránu [2]

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
Safir	26 000	22	1,3	-	50	< 50

Tab. 3.19: Doplnující údaje týkající se startů nosných raket Íránu [2], [37]

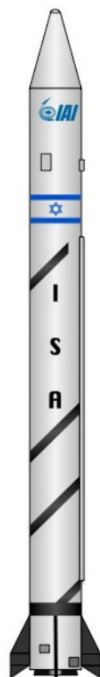
Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milion \$]
Safir	Iranian Space Agency	Iranian Space Agency	2009	7	67	nezveřejněno

### 3.4.10 IZRAEL

#### a) JIŽ V PROVOZU

#### Shavit 2

Jediný aktuálně používaný izraelský nosič je Shavit 2, který je silnější než jeho předchůdce Shavit 1. Verze Shavit 2 vznikla ze spolupráce s Jižní Afrikou. Je to malý nosič létající pouze na heliosynchronní dráhu. Jeho trajektorie letu je ale směřována na západ nad Středozemní moře, aby se vyhnul nepřátelským zemím a případnému pádu nad obydlené oblasti Středního východu. Z důvodu letu po této trajektorii raketa ztrácí přibližně 30 % výkonu. Tento nosič byl výhradně používán k vynášení průzkumných družic Izraelskými obrannými silami (IDF). [1]



Obr. 3.69: Shavit 2 [2]

Tab. 3.20: Charakteristické hodnoty nosných raket Izraele [2]

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
Shavit 2	70 000	26,4	1,4	-	-	500

Tab. 3.21: Doplnující údaje týkající se startů nosných raket Izraele [2]

Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milión \$]
Shavit 2	Israel Space Agency/IDF	IAI	1988	10	90	nezveřejněno

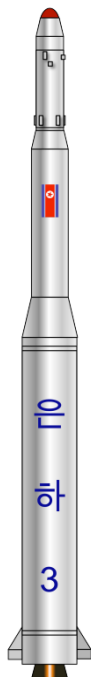
### 3.4.11 SEVERNÍ KOREA

V Severní Koreji je vesmírná agentura National Aerospace Development Administration (NADA) jediným zprostředkovatelem a výrobcem nosných raket. [1]

#### a) JIŽ V PROVOZU

#### Unha

Jediný nosný dopravní prostředek Severní Koreje je třístupňová malá nosná raketa Unha. Třetí stupeň je pravděpodobně využíván ve spolupráci s Íránem (viz kapitola 3.4.9). Sic proběhly 4 lety této rakety, pouze 2 byly úspěšné. Existují náznaky poukazující na vývoj nového většího nosiče vycházejícího právě z nosiče Unha. [1]



Obr. 3.70: Unha [2]

Tab. 3.22: Charakteristické hodnoty nosných raket Severní Koreje [2]

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
Unha	90 000	30	2,4	-	100	< 100

Tab. 3.23: Doplnující údaje týkající se startů nosných raket Severní Koreje [2]

Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milion \$]
Unha	NADA	NADA	2009	4	50	nezveřejněno

### 3.5 Nosné rakety schopné letu pod oběžnou dráhou

#### Arion 1

Španělská soukromá společnost PLD Space momentálně vyvíjí druhou verzi nosiče Arion, která bude uzpůsobena k misím pod oběžnou dráhou Země. Bude podobná nosné raketě Arion 2, ale bude o pár metrů kratší a užší. První let by měl být uskutečněn v roce 2019, tudíž ještě před startem Arion 2. [1], [38]

#### BFR

O nosiči Big Falcon Rocket proběhla zmínka už v kapitole 3.4.1, ale protože bude také využíván na mise pod oběžnou dráhu Země, je zařazen do této kapitoly.

V případě misí pod oběžnou dráhou Země se jedná o extrémně rychlou dopravu na Zemi. BRF by odstartovala z jedné z plovoucích plošin, které jsou poblíž větších měst a na které by se lidé dopravili lodí. Po startu by byl odhozen první stupeň a kosmická loď by přistála na podobné plošině blízko cílové destinace. Takový let by měl trvat přibližně 30 minut a přes celou Zemi maximálně hodinu. Cena přepravy by se měla být podobná běžným letenkám. Více informací o nosiči BFR v kapitole 4. [2], [13]

#### Haas 2B

Haas 2B je verze nosné rakety Haas schopná misí pod oběžnou dráhu Země. Je aktuálně ve vývoji a bude ji tvořit jeden stupeň. Bude uzpůsobena k přepravě pěti lidí na vzdálenost až 100 km od Země. Bude velmi podobná nosiči Haas 2C, ale bude vybavena širším nákladovým prostorem. [1], [40]

#### Minotaur IV Lite

Tato verze nosné rakety využívá oproti ostatním raketám z rodiny Minotaur IV pouze první tři stupně na TPH. Doposud proběhly dva starty pod oběžnou dráhu Země a oba byly úspěšné. Byl při nich vynesena bezmotorový experimentální kluzák HTV-2a a HTV-2b. [2], [41]

#### New Shepard

Americká soukromá společnost Blue Origin vyvinula zcela znovupoužitelný nosič New Shepard, který je vybaven jedním stupněm na KPH, kapsulí na vršku horního stupně a přistávacími nohami. Kapsule je vybavena k přepravě šesti lidí tak, aby měli dostatečné pohodlí a prostor. Nosič je uzpůsoben k vertikálním startům i přistáním. Doposud proběhlo 8 letů, ovšem všechny byly provedeny bez posádky. První lety s posádkou jsou plánovány na rok 2018. [2], [44]





Obr. 3.71: Ariane 1 [47]



Obr. 3.72: Haas 2B [40]



Obr. 3.73: Minotaur IV Lite [43]



Obr. 3.74: New Shepard [44]

Tab. 3.24: Charakteristické hodnoty nosných raket létajících pod oběžnou dráhou [2], [38], [40], [42], [45]

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]
<b>Arion 1</b>	nezveřejněno	14	0,6	100 - 200
<b>BFR</b>	4 400 000	106	9	250 000 (LEO)
<b>Haas 2B</b>	14 120	16,3	2,4	2 600
<b>Minotaur IV Lite</b>	84 800	23,9	2,4	3 000
<b>New Shepard</b>	nezveřejněno	18	nezveřejněno	nezveřejněno

Tab. 3.25: Doplnující údaje týkající se startů nosných raket létajících pod oběžnou dráhou [2], [39], [38], [43], [45]

Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milion \$]
<b>Arion 1</b>	PLD Space	PLD Space	2019	-	-	1,2
<b>BFR</b>	SpaceX	SpaceX	2022	-	-	nezveřejněno
<b>Haas 2B</b>	ARCA Space Corporation	ARCA Space Corporation	nezveřejněno	-	-	nezveřejněno
<b>Minotaur IV Lite</b>	Orbital ATK	Orbital ATK	2010	2	100	46
<b>New Shepard</b>	Blue Origin	Blue Origin	2015	8	100	nezveřejněno

## 4 OSTATNÍ DOPRAVNÍ PROSTŘEDKY

### Big Falcon Rocket

O nosiči Big Falcon Rocket proběhla zmínka už v kapitole 3.4.1 a 3.5, ale protože bude primárně využíván na meziplanetární mise, je hlavně zařazen do kapitoly 4.

Hlavním úkolem BFR je přeprava nákladu a lidí na Mars, ale SpaceX má s tímto typem velké plány. Například meziplanetární dopravu, která by umožnila budování cenově dostupných základen na jiných planetách a přepravu posádky do vesmíru, vynášení mnoha malých satelitů, ale také extrémně rychlou dopravu na Zemi. BFR by odstartovala z jedné z plovoucích plošin, které jsou poblíž větších měst a na které by se lidé dopravili lodí. Po startu by byl odhozen první stupeň a kosmická loď by přistála na podobné plošině blízko cílové destinace. Takový let by měl trvat přibližně 30 minut a přes celou Zemi maximálně hodinu. Cena přepravy by se měla být podobná běžným letenkám.

To vše by mělo být realizovatelné díky ziskům z využívání nosičů Falcon 9 a Falcon Heavy, které by měly vzlétat co nejčastěji. Dále je pro realizaci takových misí důležité přesné přistání bez využití přistávacích nohou, což není nereálné, a také je důležitá bezchybná až stoprocentní bezpečnost a spolehlivost.

SpaceX plánuje nabízet tento typ ve třech verzích. Verze pro posádku: „Cestující“, verze pro náklad: „Náklad“ a verze na doplňování paliva: „Tanker“. Pro lety s posádkou by měla být kosmická loď vybavena 40 kajutami až pro tři osoby, kuchyní, skladem, společnými prostory a krytem na ochranu před slunečními bouřemi. Kajuty by měly pojmut i více cestujících, ale to by bylo už na úkor pohodlí. Další specialitou BFR je malé delta křídlo zajišťující ovladatelnost v různorodých prostředích, vějířovité solární panely a obří kompozitní nádrž o objemu 1000 m<sup>3</sup>. Z hlediska vývoje jsou asi nejdůležitější nové raketové motory typu Raptor spalující metan. Díky největšímu poměru tahu a váhy překoná motor Merlin-1D, který je aktuálně používán raketami Falcon 9 a Falcon Heavy. První stupeň bude mít 31 těchto motorů a 7 jich bude mít druhý stupeň.

První start nosné rakety BFR má proběhnout v roce 2022, bez posádky a s úkolem zjistit potenciální rizika, hledání vody v cílové oblasti a poskytnutí základního vybavení pro příští mise. V roce 2024 je plánovaný let na Mars se čtyřmi loděmi. Dvě s posádkou a dvě bez ní. [2], [13]

### Space Launch System

O této těžké nosné raketě jsme se zmínili už v kapitole 3.4.1, ale protože jejími hlavními úkoly bude přeprava až čtyř členů lidské posádky v kosmické lodi Orion, nákladu či vědeckých robotů na planetu Mars, Jupiter a Saturn, je primárně zařazena do této kapitoly.

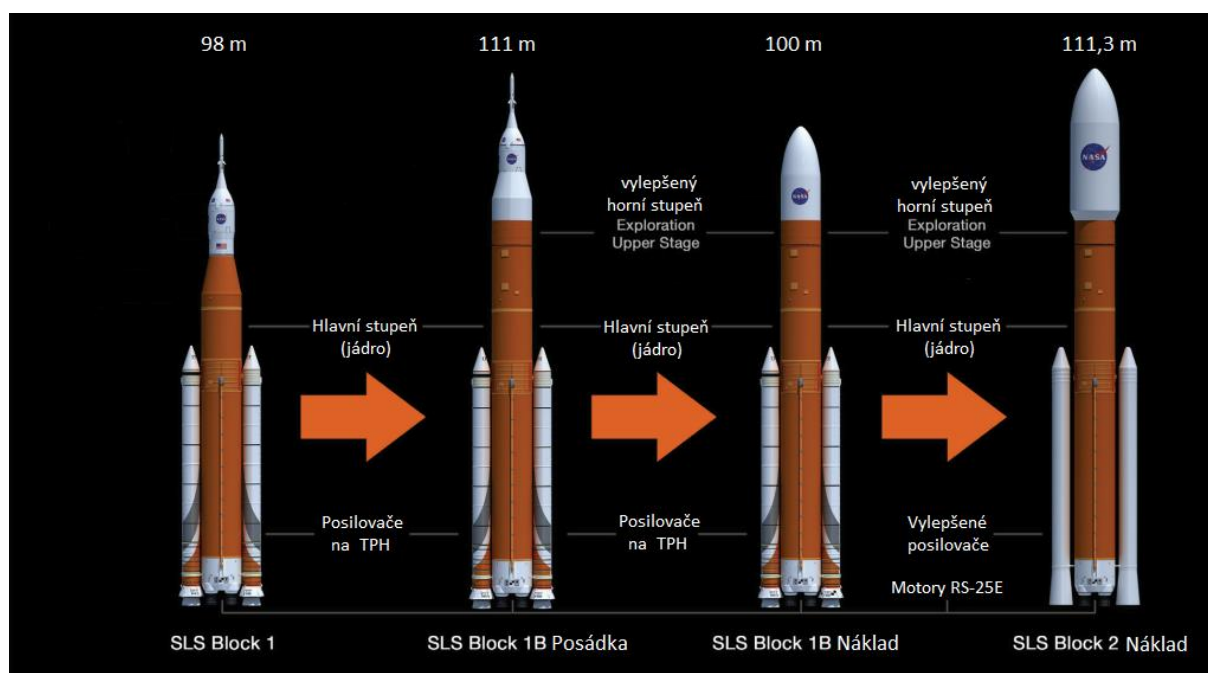
Výhodou tohoto nosiče je, že se bude moct předělávat na stále silnější verze používající stejný první stupeň. NASA doposud zveřejnila plány ke třem verzím. Verze Block 1 bude mít nosnost na LEO maximálně 70 000 kg. V roce 2019 by měl proběhnout testovací třítydenní let kosmické lodi Orion bez posádky a v roce 2021 je naplánován let s posádkou k blízkosti Měsíce. Verze Block 1B bude mít oproti předchozí verzi vylepšený silnější horní stupeň s názvem Exploration Upper Stage (EUS) a jeho nosnost se zvýší na 105 000 kg na LEO. Tato verze bude sloužit k přepravě lidské posádky a nákladu do cislunárního prostoru. Nejsilnější verzí bude Block 2 s nosností na LEO až 130 000 kg. První mise tohoto nosiče by měla proběhnout v třicátých letech 21. století a bude se jednat o misi s lidskou posádkou na planetu Mars. [2]

## Startolaunch

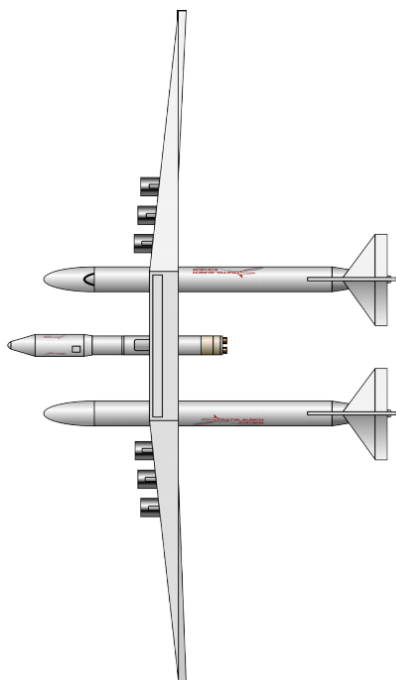
Soukromá společnost Stratolaunch Systems vyvinula největší letadlo na světě uzpůsobené k vynášení nosných raket létajících na oběžnou dráhu Země. Do roku 2020 by letadlo mělo být plně funkční a spolehlivé. Mělo by přepravovat užitečné zatížení s možností na více oběžných drah a destinací najednou. Tento letoun bude využívat nosná raketa Pegasus XL a bude schopný uvést tři takové nosné rakety najednou (viz kapitola 3.4.1). [2]

## XS-1

Agentura amerického ministerstva obrany Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) momentálně vyvíjí zcela znovupoužitelný kosmický kluzák s názvem Experimental Spaceplane-1 (XS-1). Hlavním úkolem tohoto kluzáku bude přeprava nákladu na LEO. Plánuje se, že bude schopen deseti misí (letů) za deset dní, přičemž každý let bude stát okolo 5 milionů amerických dolarů. [1]



Obr. 4.1: Space Launch System [2]



Obr. 4.2: Stratolaunch [2]



Obr. 4.3: XS-1 [2]

Tab. 4.1: Charakteristické hodnoty ostatních dopravních prostředků [2]

Název	Vzletová Hmotnost [kg]	Délka [m]	Průměr [m]	Nosnost [kg]		
				na GTO	na LEO	na SSO
<b>BFR</b>	4 400 000	106	9	nezveřejněno	250 000	nezveřejněno
<b>Space Launch System</b>	2 650 000	111,3	8,4	-	130 000	-
<b>Stratolaunch</b>	589 671	72,5	rozpětí křídel: 117	-	1 350	975
<b>XS-1</b>	nezveřejněno	nezveřejněno	nezveřejněno	nezveřejněno	1 361 - 2 267	nezveřejněno

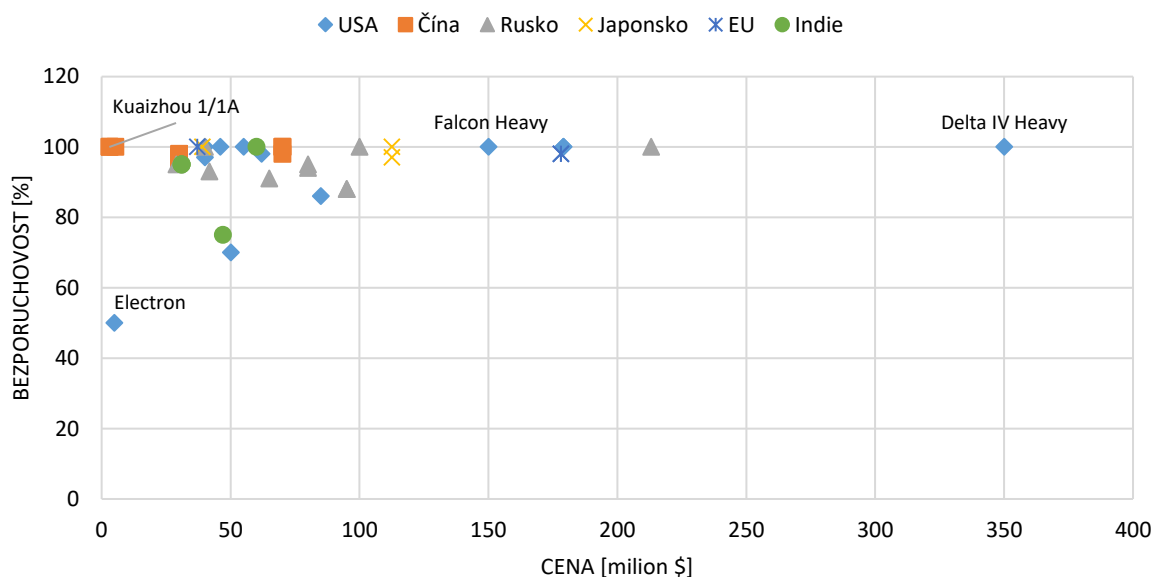
Tab. 4.2: Doplnující údaje týkající se startů ostatních dopravních prostředků [2], [46]

Nosič	Provozovatel	Výrobce	Rok prvního startu	Počet startů	Bezporuchovost [%]	Přibližná cena startu [milion \$]
<b>BFR</b>	SpaceX	SpaceX	2022	-	-	nezveřejněno
<b>Space Launch System</b>	NASA	Boeing/ULA/ Orbital ATK	2019	-	-	20 700
<b>Stratolaunch</b>	Stratolaunch Systems	Scaled Composites/ Dynetics	2018	-	-	nezveřejněno
<b>XS-1</b>	DARPA	nezveřejněno	2019-2020	-	-	5

## 5 SROVNÁNÍ

V této kapitole bylo provedeno srovnání vybraných parametrů na základě výše uvedených dat. Porovnány byly parametry ekonomické (cena za dopravený kilogram na oběžnou dráhu), spolehlivostní (bezporuchovost) a výkonové (hmotnost a nosnost).

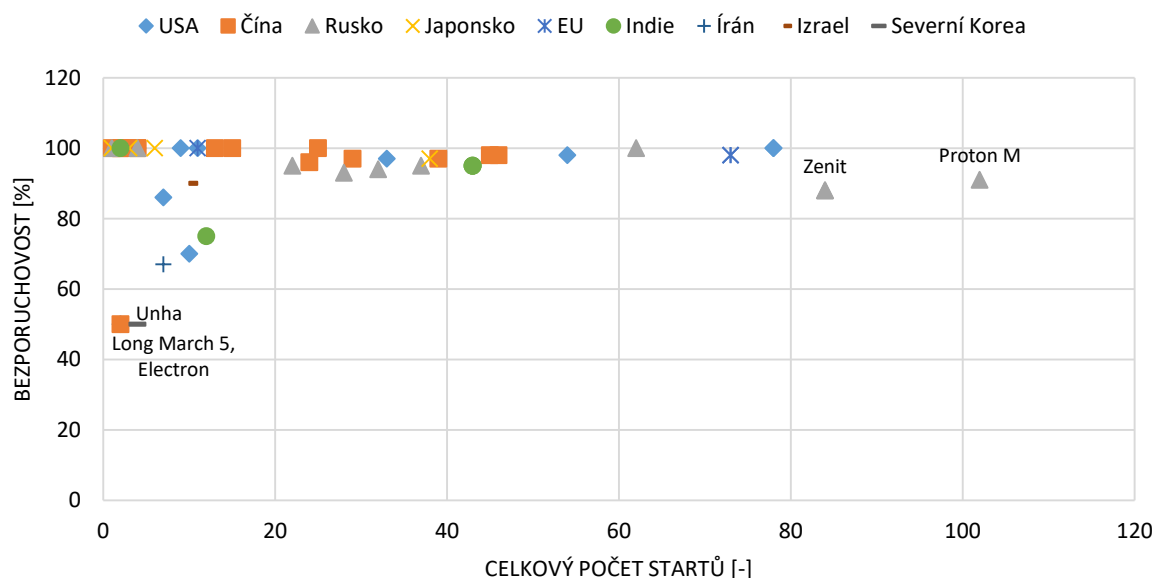
### ZÁVISLOST BEZPORUCHOVOSTI NA CENĚ JEDNOHO STARTU



Obr. 5.1: Graf závislosti bezporuchovosti na ceně jednoho startu

Z grafu závislosti bezporuchovosti na ceně jednoho startu je zřejmé, že je na světovém trhu nabízeno poměrně dost nosných raket s vysokou bezporuchovostí a se zároveň velmi rozdílnou cenou. Rozptyl v bezporuchovosti u levnějších raket je daný malým počtem startů, kdy jedna nebo pár nehod způsobí snížení bezporuchovosti v řádu desítek procent. Nejlevnějšími nosiči jsou čínské rakety Kuaizhou 1 a Kuaizhou 1A a americký Electron, kterému kazí skóre bezporuchovosti právě jedna nehoda. Na druhé straně cenové osy se umístily nosič americký Delta IV Heavy. Cena vychází z vysoké nosnosti. I přes jeho vysokou bezporuchovost by měl být v budoucnu nahrazen nosičem Falcon Heavy, který sice letěl pouze jednou, ale jeho cena jednoho startu je víc jak o polovinu nižší a nosnost na LEO je o 35 000 kg vyšší.

## ZÁVISLOST BEZPORUCHOVOSTI NA CELKOVÉM POČTU STARTŮ



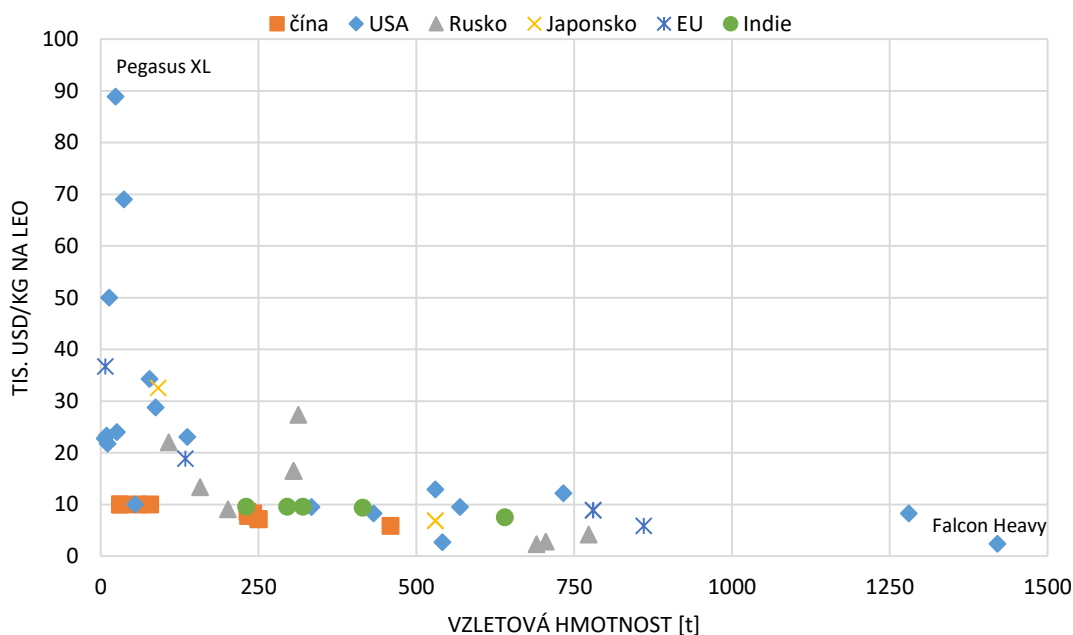
Obr. 5.2: Graf závislosti bezporuchovosti na celkovém počtu startů

Z tohoto grafu závislosti bezporuchovosti na celkovém počtu startů je zřejmé, že se zvyšujícím počtem startů zvyšuje i hodnota bezporuchovosti a zároveň snižuje jeho rozptyl. Z tohoto trendu se vymykají pouze ruské nosné rakety Proton M a Zenit. Ty mají hodnotu bezporuchovosti okolo 90 %. Navzdory nižší bezporuchovosti se v současné době jedná o nejpoužívanější nosiče.

Nejlépe z tohoto porovnání vyšel americký nosič Atlas V. Ten od roku 2002 vykonal již 78 startů a všechny byly úspěšné. Tento nosič se může pyšnit nejenom vysokou spolehlivostí, ale i vysokou nosností na nízkou oběžnou dráhu Země, se kterou se blíží k nosnosti těžkých nosných raket. Jeho nevýhodou je ale poměrně vysoká cena jednoho startu.

Nejhůře v tomto srovnání dopadla čínská nosná raketa Long March 5, která od roku 2016 vykonal pouze dva starty a pouze jeden byl úspěšný, a nosná raketa Unha ze Severní Koreje, která od roku 2009 vykonal pouze dva úspěšné lety ze čtyř celkových. Stejně tak dopadl také americký Electron z roku 2017, s jedním úspěšným startem ze dvou pokusů.

## CENA ZA DORUČENÍ KG NA LEO

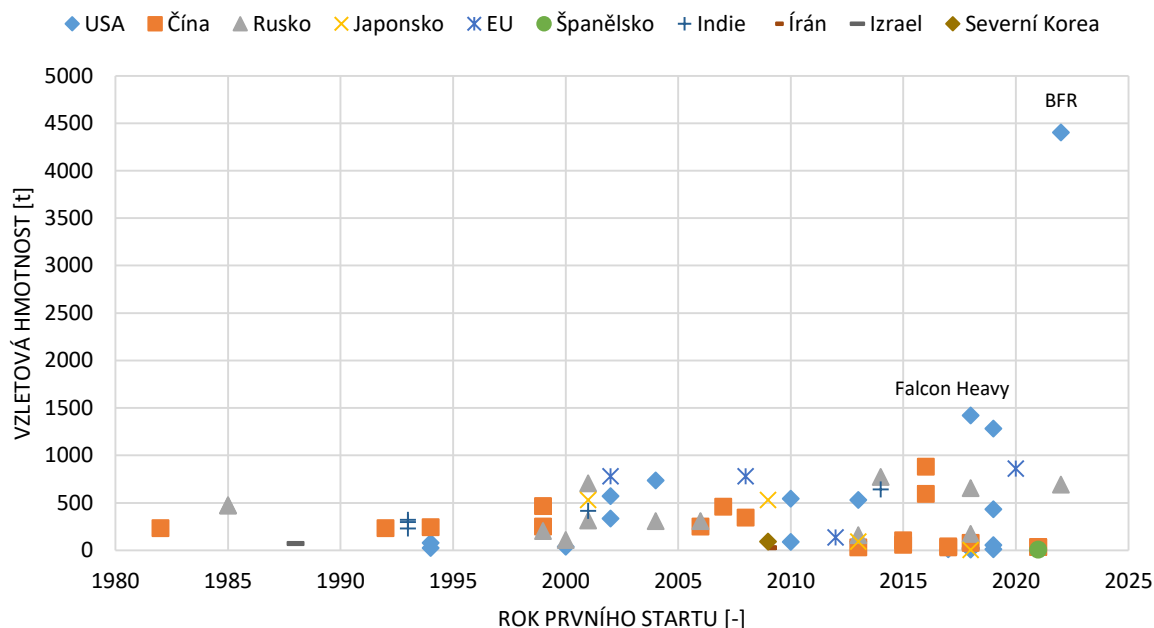


Obr. 5.3: Graf závislosti ceny jednoho kilogramu na LEO na vzletové hmotnosti

Cena jednoho kilogramu na LEO vznikla podělením celkové ceny nosiče v amerických dolarech nosností nosiče na nízkou oběžnou dráhu v kilogramech. Tento graf znázorňuje, že americká nosná raketa Falcon Heavy (bod nejvíc vpravo), která sice před nedávnem započala svoje působení, bude velice výhodným nosným prostředkem užitečného zatížení. Při vysoké nosnosti až 63 800 kg na LEO a vzletové hmotnosti 1 421 tun vychází cena jednoho kilogramu nákladu na „pouhých“ 2 351 amerických dolarů. Což je oproti druhému extrému znázorněnému v grafu obrovský rozdíl. Americký nosič Pegasus XL se s velmi malou nosností 400 kg na LEO a vzletovou hmotností 23 tun se dostal na cenu 88 889 amerických dolarů za jeden kilogram nákladu připravovaného na nízkou oběžnou dráhu Země.



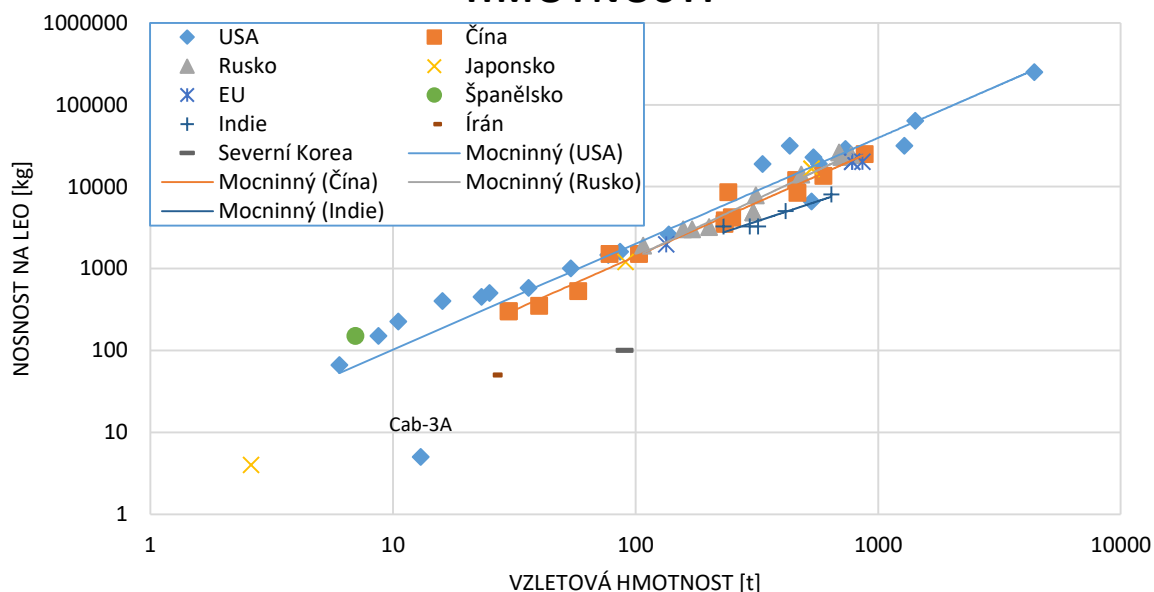
## VÝVOJ VZLETOVÉ HMOTNOSTI



Obr. 5.4: Graf vývoje vzletové hmotnosti (závislost vzletové hmotnosti na roce prvního startu)

Tento graf znázorňuje, jak se v letech měnila a bude měnit vzletová hmotnost současně užívaných a vyvíjených nosných raket. Z grafu je zřejmé, že starší rakety měly poměrně malou hmotnost a že se maximální vzletová hmotnost v posledních letech zvyšuje. Momentálně má nejvyšší vzletovou hmotnost nosič Falcon Heavy. Přestože se vzletová hmotnost u raket zvyšuje, stojí za zmínku, že nosič Saturn V, který létal před padesáti lety, měl téměř dvakrát vyšší hmotnost než Falcon Heavy. Nicméně nosná raketa Big Falcon Rocket, která by měla poprvé vzlétnout v roce 2022, bude mít vzletovou hmotnost o hodně vyšší než ostatní aktuálně používané a vyvíjené nosiče. Její vzletová hmotnost závisí na její nosnosti na nízkou oběžnou dráhu Země, která činí až 250 000 kg. Tento nosič je plánován k univerzálním misím od sub-orbitálních (mise pod oběžnou dráhou) až po mezi planetární.

## ZÁVISLOST NOSNOSTI NA VZLETOVÉ HMOTNOSTI



Obr. 5.5: Graf závislosti nosnosti na vzletové hmotnosti

Graf závislosti nosnosti rakety na LEO na její vzletové hmotnosti ukazuje přímo úměrnou závislost. Z hlediska efektivity vychází nejlépe nosiče nad průměrem (nejlepší poměr hmotnosti ku nosnosti). Stojí za zmínku, že z grafu vybočující americký nosič Cab-3A bude startovat ze spodu letadla. Z grafu také vyplývá větší vliv daný vyspělostí kosmického průmyslu než polohou kosmodromu (viz příloha). Spojené státy americké vycházejí z porovnání nejlépe, naopak státy jako Indie, Korea nebo Írán dost ve vývoji zaostávají.

## 6 ZÁVĚR

Hlavní úlohou této bakalářské práce bylo sestavení přehledu běžně používaných a v současné době vyvíjených prostředků sloužících k transportu užitečného zatížení do vesmíru a následné srovnání těchto dopravních prostředků. V první přehledové části jsou dopravní prostředky popisovány jejich charakteristickými vlastnostmi a schopnostmi. Případně byly popisovány verze těchto prostředků, jejich konstrukce a schopnosti. Za každou kapitolou jsou vloženy tabulkové hodnoty, ve kterých jsou shrnuty podstatné informace popisovaných prostředků. V případě uvedení celkového počtu startů, jsou hodnoty vedeny k první polovině května 2018.

Ve druhé srovnávací části práce byly porovnávány vybrané parametry na základě tabulkových hodnot uvedených v první části. Při procesu srovnávání byly hledány různé závislosti dopravních prostředků, které by přinesly užitečné informace. V případě absence některých hodnot dopravního prostředku, nebyl v daných grafech a závislostech popisován. Jako nejslibnější prostředek ze srovnání současných nosičů vychází Falcon Heavy. Přestože jeho působení započalo teprve na začátku roku 2018 a jeho budoucnost je nám zatím neznámá, vše naznačuje tomu, že tento nosič bude velice důležitý pro vesmírnou dopravu. Falcon Heavy od soukromé společnosti SpaceX se vyznačuje vysokou nosností, nízkou cenou připadající na jeden start a schopností vícenásobného využití.

Grafické srovnání výkonů a dalších parametrů transportních prostředků uvedených v kapitolách 3.5 a 4 nebylo provedeno pro nedostatek dat. Jedná se o přehled velmi rozdílných prostředků určených pro mise od sub-orbitálních po meziplanetární. Nicméně, momentálně vyvíjený projekt Big Falcon Rocket od společnosti SpaceX v sobě ukrývá obrovský potenciál. Podle všech plánů, bude všestranně využitelný, zcela znovupoužitelný a bude nabízet vysokou nosnost. Pokud vývoj BFR půjde podle předpokladů a bude úspěšný, mohl by tento nosič způsobit revoluci ve vesmírné dopravě a otevřel by tak nové možnosti průzkumu vesmíru. Přibližná cena startu tohoto nosiče není ale doposud známá. Ví se však, že SpaceX momentálně usiluje o celkové snížení nákladů vesmírných dopravních prostředků. NASA zaměřila svůj vývoj na těžkou nosnou raketu Space Launch Vehicle. Tento projekt je ale příliš drahý. NASA má v plánu tento prostředek primárně využívat k meziplanetární dopravě, což opět nabízí veliký potenciál pro rozvoj vesmírného průmyslu, ale pokud bude jeho výroba a provoz nesmírně drahý, nebude jeho využití příliš výhodné.

Fakt, že z celkového srovnání vyšly těžké nosiče Falcon Heavy a BFR nejlépe, neznamená, že je nárůst malých soukromých společností a jejich působení na trhu s malými vesmírnými dopravními prostředky bezvýznamné. Naopak. Malé dopravní prostředky jsou důležité pro zákazníky s malým užitečným zatížením z toho důvodu, že je jim tímto otevřena levná cesta k působení ve vesmírném průmyslu.

Vývoj vesmírné dopravy se každým rokem posouvá kupředu. Je otázka, kam se tímto tempem vesmírná doprava posune za několik příštích let. Je možné, že cestování na jiné planety a do vzdálených destinací vesmíru už nebude pouhou představou a stane se skutečností.

## 7 POJMY

### ***aerodynamický kryt***

= účelně tvarovaná část draku zajišťující snížení tvarového odporu části letadla [4]

### ***bezporuchovost***

= schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu [4]

### ***geostacionární dráha***

= stacionární dráha u družic Země [4]

### ***geosynchronní dráha***

= synchronní dráha u družic Země [4]

### ***heliosynchronní dráha***

= oběžná dráha, kde kosmické těleso přelétá stejné oblasti povrchu planety za stejné geometrie osvětlení povrchu Sluncem (obvyklá výška 600 km až 800 km) [4], [48]

### ***kosmická loď***

= umělé kosmické těleso sloužící jako kosmický dopravní prostředek pro dopravu lidí a nákladu nebo samotného nákladu [4]

### ***kosmický kluzák***

= umělé kosmické těleso vybavené nosnými plochami umožňujícími klouzavý let v atmosféře [4]

### ***modul užitečného zatížení***

= část kosmického tělesa, nesoucí vědecké přístroje a aplikační zařízení [4]

### ***motor (raketový)***

= reaktivní pohonný systém nevyužívající k pohonu látek z okolního prostředí [4]

### ***nízká oběžná dráha***

= oběžná dráha ve výšce 160 km až 2 000 km

### ***nosná raketa - lehká***

= nosná raketa s nosností na LEO do 2 000 kg

### ***nosná raketa - středně těžká***

= nosná raketa s nosností na LEO od 2 000 kg do 20 000 kg

### ***nosná raketa - těžká***

= nosná raketa s nosností na LEO od 20 000 kg do 50 000 kg

***nosná raketa - super těžká***

= nosná raketa s nosností na LEO vyšší jak 50 000 kg

***oběžná dráha***

= uzavřená trajektorie, po níž se pohybuje umělé nebo kosmické těleso kolem centrálního tělesa [4]

***polární dráha***

= oběžná dráha se sklonem  $\varphi = 90^\circ$  k rovníku nebeského tělesa (Země, planety); v rovině dráhy leží polární osa centrálního tělesa (obvyklá výška 1 000 km) [4], [48]

***posilovač (posilovač řízení)***

= zařízení sloužící k znásobení síly vyvolané ředidlem [4]

***přechodová dráha***

= oběžná dráha, po níž se kosmický objekt pohybuje od bodu navedení nebo od bodu manévru na vyčkávací dráze do bodu navedení na konečnou dráhu [4]

***přechodová dráha ke stacionární dráze***

= přechodová dráha po dosažení stacionární dráhy (výška maximálně 36 000) [4], [48]

***raketa***

= dopravní prostředek, obvykle bezkřídlý, využívající k pohonu raketového motoru [4]

***stacionární dráha***

= rovníková oběžná dráha, kde kosmické těleso zdánlivě stojí nad jedním bodem rovníku [4]

***stupeň (raketový stupeň)***

= konstrukční prvek rakety tvořený raketovým motorem, popř. nádržemi pohonných látek a dalším technickým vybavením; po skončení činnosti se obvykle odděluje od zbytku rakety [4]

***synchronní dráha***

= oběžná dráha, kde kosmické těleso v pravidelných intervalech přelétá stejná místa povrchu nebeského tělesa [4]

***užitečné zatížení***

a) přepravovaný náklad; placený náklad = náklad (cestující, pošta, zvířata, zavazadla, zboží, pošta), který se dopravuje letadlem, eventuálně za úplatu

b) funkční umělé kosmické těleso; nefunkční kosmický objekt = umělé kosmické těleso, které sloužilo po dobu vynášení užitečného zatížení na dráhu; dále již nefunkční (např. poslední stupeň rakety) [4]

***úniková dráha***

= otevřená trajektorie, po níž se pohybuje umělé nebo kosmické těleso rychlostí vyšší než 2. kosmická rychlost [4]

***vzlet (rakety)***

= okamžik zahájení aktivního úseku letu nosné rakety [4]

***vzletová hmotnost***

= hmotnost kosmického tělesa v okamžiku vzletu nosné rakety včetně pohonných látek a dalších látek na jeho palubě a konstrukčních dílů souvisejících k jeho připojení k nosné raketě [4]

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *The Annual Compendium of Commercial Space Transportation* [online]. Washington, DC: FAA Office of Commercial Space Transportation, 2017-. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.faa.gov/search/?omni=MainSearch&q=Annual+Compendium+of+Commercial+space+transportation+2017>
- [2] *The Annual Compendium of Commercial Space Transportation* [online]. Washington, DC: FAA Office of Commercial Space Transportation, 2018-. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.trb.org/Policy/Blurbs/177241.aspx>
- [3] KUSÁK, Jan. *Kosmické rakety dneška*. Valašské Meziříčí: Hvězdárna Valašské Meziříčí, 1998. ISBN 80-902445-3-X.
- [4] ČSN 31 0001. *Letectví a kosmonautika - Terminologie*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [5] VÁCLAVÍK, Michal. Kosmonautika XVI - Raketové motory. *Hvězdárna Vsetín* [online]. Vsetín, 2004 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.hvezdarna-vsetin.cz/view.php?cislocclanku=2004070001>
- [6] LOGSDON, John M. Launch vehicle. *Encyclopedia Britannica* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/launch-vehicle>
- [7] THE HANGAR / ATLAS V. *Spaceflight Insider* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.spaceflightinsider.com/hangar/atlas-v/>
- [8] Delta IV Heavy. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Delta\\_IV\\_Heavy](https://en.wikipedia.org/wiki/Delta_IV_Heavy)
- [9] GRUSH, Loren. Electron. *The Verge* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2018/4/4/17195686/rocket-lab-electron-commercial-launch-its-business-time-new-zealand>
- [10] COMPLETED MISSIONS. *SpaceX* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.spacex.com/missions>
- [11] MAJER, Dušan Majer. ŽIVĚ A ČESKY: Falcon Heavy na startu. *Kosmonautix.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2018/02/zive-a-cesky-falcon-heavy-na-startu/>
- [12] Vector-R. *Vector* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://vector-launch.com/vector-r/>
- [13] MELECHIN, Petr. Obří raketa BFR nahradí Falcony a umožní cesty na Měsíc i Mars. *ElonX* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.elonx.cz/nova-raketa-bfr-nahradi-falcony-a-umozni-cesty-na-mesic-i-mars/>
- [14] Minotaur Space Launch Vehicles. *Orbital ATK* [online]. 2017, (2), 4 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z:

[https://www.orbitalatk.com/search/search.asp?zoom\\_query=minotaur+space+launch+vehicles+fact+sheet&zoom\\_per\\_page=10&zoom\\_and=0&zoom\\_sort=0](https://www.orbitalatk.com/search/search.asp?zoom_query=minotaur+space+launch+vehicles+fact+sheet&zoom_per_page=10&zoom_and=0&zoom_sort=0)

- [15] MAJER, Dušan. Omega – nová těžká raketa na tuhé palivo. *Kosmonautix.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2018/04/omega-nova-tezka-raketa-na-tuhe-palivo/>
- [16] Vector-H. *Vector* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://vector-launch.com/vector-h/>
- [17] WADE, Mark. N2O4/UDMH. *Astronautix* [online]. 1997 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.astronautix.com/n/n2o4udmh.html>
- [18] Long March 2C. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Long\\_March\\_2C](https://en.wikipedia.org/wiki/Long_March_2C)
- [19] Long March 2D. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Long\\_March\\_2D](https://en.wikipedia.org/wiki/Long_March_2D)
- [20] Long March 3B/E. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Long\\_March\\_3B](https://en.wikipedia.org/wiki/Long_March_3B)
- [21] Long March 4C. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Long\\_March\\_4C](https://en.wikipedia.org/wiki/Long_March_4C)
- [22] Long March 11. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Long\\_March\\_11](https://en.wikipedia.org/wiki/Long_March_11)
- [23] Service. *Link Space* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://linkspace.com.cn/#portfolio>
- [24] JONES, Andrew. Chinese commercial rocket company OneSpace set for debut launch in June. *Gbtimes* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://gbtimes.com/chinese-commercial-rocket-company-onespace-set-for-debut-launch-in-june>
- [25] ZAK, Anatoly. Rockot launch vehicle. *RussianSpaceWeb.com* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.russianspaceweb.com/rockot.html>
- [26] ZAK, Anatoly. Soyuz-FG's long road to retirement. *RussianSpaceWeb.com* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.russianspaceweb.com/soyuz-fg.html>
- [27] ZAK, Anatoly. Soyuz-2 rocket series. *RussianSpaceWeb.com* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [http://www.russianspaceweb.com/soyuz2\\_lv.html](http://www.russianspaceweb.com/soyuz2_lv.html)



- [28] Russian Aerospace force launched Soyuz-2.1V rocket from the Plesetsk cosmodrome. *Russian Aviation* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.ruaviation.com/news/2018/3/30/11114/>
- [29] HACEKOVÁ, Nina. Rusové vytáhli vesmírný trumf. Superlod' má kosmonauty dovézt na Měsíc i na Mars. *Hospodářské Noviny* [online]. 2012 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://art.ihned.cz/c1-59033290-rusove-vytahli-vesmirny-trumf-superlod-ma-kosmonauty-dovezt-na-mesic-i-na-mars>
- [30] MALIK, Tariq. Watch Japan's Epsilon Rocket Launch the ASNARO-2 Radar Earth Satellite. *SPACE.com* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.space.com/39434-japan-epsilon-rocket-launches-asnaro-2-satellite.html>
- [31] H-IIA/B Data Sheet. *Space Launch Report* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.spacelaunchreport.com/h2.html>
- [32] Ariane 5. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ariane\\_5](https://en.wikipedia.org/wiki/Ariane_5)
- [33] ZAK, Anatoly. Europe's Vega launch vehicle. *RussianSpaceWeb.com* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [http://www.russianspaceweb.com/vega\\_lv.html](http://www.russianspaceweb.com/vega_lv.html)
- [34] Bloostar. *Zero to Infinity* [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.zero2infinity.space/bloostar/>
- [35] List of GSLV Launches. *Departement of Space Indian Space Research Organisation* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.isro.gov.in/launchers/list-of-gslv-launches>
- [36] POLAR SATELLITE LAUNCH VEHICLE. *Departement of Space Indian Space Research Organisation* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.isro.gov.in/launchers/pslv>
- [37] Safir (rocket). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Safir\\_\(rocket\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Safir_(rocket))
- [38] PLD Space. *NASA SpaceFlight* [online]. 2005 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://forum.nasaspaceflight.com/index.php?topic=37384.0>
- [39] HENRY, Caleb. Spain's PLD Space receives \$2.4 million grant for smallsat launchers. *SPACE NEWS* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://spacenews.com/spains-pld-space-receives-2-4-million-grant-for-smallsat-launcher/>
- [40] Haas 2B. *ARCA* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.arcaspace.com/en/haas2b.htm>

- [41] CLARK, Stephen. New Minotaur rocket launches on suborbital flight. *Spaceflight Now* [online]. 2010 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://spaceflightnow.com/news/n1004/23minotaur/>
- [42] Minotaur 4 Data Sheet. *Space Launch Report* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.spacelaunchreport.com/minotaur4.html>
- [43] Minotaur IV - Lite. *Orbital ATK* [online]. 2017, (4), 2 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://www.orbitalatk.com/search/search.asp?zoom\\_query=Minotaur+IV+Lite+Fact+Sheet](https://www.orbitalatk.com/search/search.asp?zoom_query=Minotaur+IV+Lite+Fact+Sheet)
- [44] OUR APPROACH TO TECHNOLOGY. *Blue Origin* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.blueorigin.com/new-shepard>
- [45] HOWELL, Elizabeth. New Shepard: Rocket for Space Tourism. *SPACE.com* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.space.com/40372-new-shepard-rocket.html>
- [46] CLARK, Stephen. Space Launch System, planetary exploration get big boosts in NASA budget. *Spacelight Now* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://spaceflightnow.com/2018/03/23/space-launch-system-planetary-exploration-get-big-boosts-in-nasa-budget/>
- [47] La primera prueba de un motor cohete de combustible líquido en España. In: *NAUKAS* [online]. 2015 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://danielmarin.naukas.com/2015/07/06/la-primera-prueba-de-un-motor-cohete-de-combustible-liquido-en-espana/>
- [48] TYPES OF ORBITS. *ESA* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Transportation/Types\\_of\\_orbits](https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Types_of_orbits)

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>CALT</b>	China Academy of Launch Vehicle Technology
<b>CASIC</b>	China Aerospace Science and Technology Corporation
<b>CGWIC</b>	China Great Wall Industry Corporation
<b>CNSA</b>	China National Space Administration
<b>EXPACE</b>	CASIC Rocket Technology Company
<b>GEO</b>	geosynchronní dráha
<b>GTO</b>	přechodová dráha ke stacionární dráze
<b>IAI</b>	Izrael Aerospace Industries
<b>IHI</b>	Ishikawajima-Harima Heavy Industries
<b>ISS</b>	International Space Station (Mezinárodní vesmírná stanice)
<b>JAXA</b>	Japan Aerospace Exploration Agency
<b>LEO</b>	nízká oběžná dráha Země
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>PLA</b>	People's Liberation Army (Čínská lidová osvobozenecská armáda)
<b>SAST</b>	Shanghai Academy of Spaceflight Technology
<b>SSO</b>	heliosynchronní dráha

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1: Motor STAR-48 na TPH (NASA) .....	18
Obr. 3.2: Motor BE-4 na KPH (Blue Origin) .....	18
Obr. 3.3: Antares .....	21
Obr. 3.4: Atlas V .....	21
Obr. 3.5: Delta IV Heavy .....	21
Obr. 3.6: Electron .....	21
Obr. 3.7: Falcon 9 .....	23
Obr. 3.8: Minotaur I .....	23
Obr. 3.9: Minotaur IV .....	23
Obr. 3.10: Minotaur V .....	24
Obr. 3.11: Minotaur-C .....	24
Obr. 3.12: Pegasus XL .....	24
Obr. 3.13: Cab-3A .....	25
Obr. 3.14: Falcon Heavy .....	25
Obr. 3.15: Haas 2C .....	25
Obr. 3.16: Intrepid 1 .....	26
Obr. 3.17: LauncherOne .....	26
Obr. 3.18: Vector R .....	26
Obr. 3.19: Alpha 1.0 .....	27
Obr. 3.20: BFR .....	27
Obr. 3.21: Minotaur VI .....	27
Obr. 3.22: New Glenn .....	29
Obr. 3.23: OmegA .....	29
Obr. 3.24: Vector H .....	29
Obr. 3.25: Vulcan .....	29
Obr. 3.26: Kaituozhe 2 .....	31
Obr. 3.27: Kuaizhou 1/1A .....	31
Obr. 3.28: Long March 2C .....	31
Obr. 3.29: Long March 2D .....	32
Obr. 3.30: Long March 2F .....	32
Obr. 3.31: Long March 3A .....	32
Obr. 3.32: Long March 3B/E .....	33
Obr. 3.33: Long March 3C .....	33
Obr. 3.34: Long March 4B .....	33
Obr. 3.35: Long March 4C .....	34
Obr. 3.36: Long March 5 .....	34
Obr. 3.37: Long March 6 .....	34
Obr. 3.38: Long March 7 .....	35
Obr. 3.39: Long March 11 .....	35
Obr. 3.40: Kuaizhou 11 .....	36
Obr. 3.41: New Line 1 .....	36
Obr. 3.42: OS-M1 .....	36
Obr. 3.43: Angara A5 .....	39
Obr. 3.44: Dnepr .....	39
Obr. 3.45: Proton M .....	39
Obr. 3.46: Rockot .....	40
Obr. 3.47: Soyuz FG .....	40
Obr. 3.48: Soyuz 2.1a/b .....	40

Obr. 3.49: Soyuz 2.1v .....	41
Obr. 3.50: Zenit .....	41
Obr. 3.51: Angara 1.2 .....	42
Obr. 3.52: Proton Medium.....	42
Obr. 3.53: Angara A3 .....	43
Obr. 3.54: Soyuz 5 .....	43
Obr. 3.55: Epsilon.....	45
Obr. 3.56: H-IIA/B .....	45
Obr. 3.57: SS-520-5.....	46
Obr. 3.58: H3 .....	46
Obr. 3.59: Ariane 5 ECA/ES .....	48
Obr. 3.60: Vega .....	48
Obr. 3.61: Ariane 6 .....	48
Obr. 3.62: Arion 2 .....	49
Obr. 3.63: Bloostar .....	49
Obr. 3.64: Black Arrow 2 .....	51
Obr. 3.65: GSLV .....	52
Obr. 3.66: LVM3 .....	52
Obr. 3.67: PSLV .....	52
Obr. 3.68: Safir .....	53
Obr. 3.69: Shavit 2.....	54
Obr. 3.70: Unha .....	55
Obr. 3.71: Arion 1 .....	57
Obr. 3.72: Haas 2B .....	57
Obr. 3.73: Minotaur IV Lite .....	57
Obr. 3.74: New Shepard .....	57
Obr. 4.1: Space Launch System .....	60
Obr. 4.2: Stratolaunch.....	61
Obr. 4.3: XS-1 .....	61
Obr. 5.1: Graf závislosti bezporuchovosti na ceně jednoho startu .....	62
Obr. 5.2: Graf závislosti bezporuchovosti na celkovém počtu startů.....	63
Obr. 5.3: Graf závislosti ceny jednoho kilogramu na LEO na vzletové hmotnosti.....	64
Obr. 5.4: Graf vývoje vzletové hmotnosti (závislost vzletové hmotnosti na roce prvního startu) .....	65
Obr. 5.5: Graf závislosti nosnosti na vzletové hmotnosti.....	66

## SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1:	Nosné rakety USA létající na oběžné dráhy s komerčním využitím .....	19
Tab. 3.2:	Nosné rakety USA létající na oběžné dráhy s možným komerčním využitím .....	20
Tab. 3.3:	Charakteristické hodnoty nosných raket USA .....	30
Tab. 3.4:	Charakteristické hodnoty nosných raket Číny .....	37
Tab. 3.5:	Doplňující údaje týkající se startů čínských nosných raket .....	38
Tab. 3.6:	Charakteristické hodnoty nosných raket Ruska .....	43
Tab. 3.7:	Doplňující údaje týkající se startů ruských nosných raket .....	44
Tab. 3.8:	Charakteristické hodnoty nosných raket Japonska .....	46
Tab. 3.9:	Doplňující údaje týkající se startů japonských nosných raket .....	47
Tab. 3.10:	Charakteristické hodnoty nosných raket EU .....	48
Tab. 3.11:	Doplňující údaje týkající se startů nosných raket EU .....	49
Tab. 3.12:	Charakteristické hodnoty nosných raket Španělska .....	50
Tab. 3.13:	Doplňující údaje týkající se startů španělských nosných raket .....	50
Tab. 3.14:	Charakteristické hodnoty nosných raket Velké Británie .....	50
Tab. 3.15:	Doplňující údaje týkající se startů nosných raket Velké Británie .....	51
Tab. 3.16:	Charakteristické hodnoty nosných raket Indie .....	52
Tab. 3.17:	Doplňující údaje týkající se startů indických nosných raket .....	53
Tab. 3.18:	Charakteristické hodnoty nosných raket Íránu .....	54
Tab. 3.19:	Doplňující údaje týkající se startů nosných raket Íránu .....	54
Tab. 3.20:	Charakteristické hodnoty nosných raket Izraele .....	54
Tab. 3.21:	Doplňující údaje týkající se startů nosných raket Izraele .....	55
Tab. 3.22:	Charakteristické hodnoty nosných raket Severní Koreje .....	55
Tab. 3.23:	Doplňující údaje týkající se startů nosných raket Severní Koreje .....	56
Tab. 3.24:	Charakteristické hodnoty nosných raket létajících pod oběžnou dráhou .....	58
Tab. 3.25:	Doplňující údaje týkající se startů nosných raket létajících pod oběžnou dráhou .....	58
Tab. 4.1:	Charakteristické hodnoty ostatních dopravních prostředků .....	61
Tab. 4.2:	Doplňující údaje týkající se startů ostatních dopravních prostředků .....	61

## **SEZNAM PŘÍLOH**

**Příloha 1:** Světová mapa s vyznačenými kosmodromy [2]

## PŘÍLOHA 1

